Anat. 292 xb

Xerokopieren aus konservatorischen Gründen nicht erlaubt
Nur im Lesesaal benützbar
21. NOV. 1989

Bayerische Staatsbibliothek
<36645195010018

DIE

STATIK UND MECHANIK

DES

MENSCHLICHEN KNOCHENGERÜSTES

VON

G. HERMANN MEYER,

DR. MED. U. CHIR., ORDENTL. PROFESSOR DER ANATOMIE.

MIT 43 FIGUREN IN HOLZSCHNITT.

LEIPZIG,

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN.

1873.

143 G

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS

Das Recht der Uebersetzung in fremde Sprachen haben sich Verfasser und Verleger vorbehalten.

VORWORT.

Der Gegenstand, welcher den Inhalt vorliegender Schrift bildet, hat mich eine längere Reihe von Jahren beschäftigt und war mir der leitende Gedanke für eine Anzahl grösserer und kleinerer Abhandlungen, welche zu verschiedener Zeit und an verschiedenen Orten erschienen sind. Das Verzeichniss derselben ist diesem Vorworte angeschlossen; in dasselbe sind auch vier Abhandlungen aufgenommen, welche unter meiner unmittelbaren Mitwirkung und Theilnahme ursprünglich als hiesige Dissertationen erschienen sind. In der Schrift sind die einzelnen Abhandlungen gewöhnlich nur mit ihrer Aufzählungsnummer angeführt, z. B. II. 5 (d. h. die Mechanik der Skoliose).

Den ersten vorläufigen Abschluss, wenigstens so weit es die Anatomie und Mechanik der Gelenke angeht, habe ich in der 1856 erschienenen ersten Auflage meines Lehrbuches der Anatomie gegeben. Der Natur der Sache nach musste ich mich indessen dabei gedrängtester Kürze befleissigen, indem die an diesem Orte niedergelegten Sätze nur die Bedeutung haben konnten, auf das Verständniss der Knochenformen hinzuwirken.

In Gegenwärtigem habe ich die Ergebnisse meiner Studien und Untersuchungen über die Statik und Mechanik des menschlichen Knochengerüstes zusammengestellt und zwar

theils solche, welche an oben genannten Orten schon besprochen waren, theils auch eine Reihe solcher, welche bisher noch nicht veröffentlicht sind. — Ich habe mich bemüht, alle Theile möglichst gleichmässig zu behandeln, um dadurch dem Ganzen eine möglichst systematische Rundung zu geben. Dennoch mag vielleicht Manchem Manches zu skizzenhaft gehalten erscheinen. Solcher Meinung gegenüber darf ich indessen wohl darauf aufmerksam machen, dass da, wo es gilt, eine gewisse Menge von grösstentheils neuem Material in ein systematisches Ganze zu vereinigen, es doch wohl die Hauptsache ist, dass eine solche Vereinigung überhaupt einmal geschehe und dass Inhalt und Umrisse der dadurch entstehenden neuen Doktrin überhaupt einmal scharf hingestellt werden. Monographische Ausführlichkeit in den einzelnen Abschnitten kann dabei nicht verlangt werden und ist auch überflüssig bei der Behandlung solcher Themata, welche anderwärts schon eine genauere Besprechung gefunden haben.

Meine persönliche Stellung zu der vorliegenden Arbeit ist die, dass ich wünsche durch dieselbe meine bisherigen Studien und Untersuchungen über die funktionelle Bedeutung des Knochengerüstes zu einem derartigen Abschlusse zu bringen, dass damit ein Ausgangspunkt für neue Untersuchungen gewonnen ist. — Mögen solche, welche ein Verständniss für den Ausbau der physiologischen Anatomie haben, diese Schrift ebenso freundlich aufnehmen, wie sie in aufrichtigem Streben, der Wissenschaft zu nützen, durch redliche Forschung entstanden ist, — und mögen andere, welche in der Meinung befangen sind, die Anatomie sei eine seit Jahren abgeschlossene Wissenschaft, aus derselben die Ueberzeugung gewinnen, dass dem strebsamen Forscher in dem Suchen nach dem Verständniss der Formen noch ein reiches Feld der Thätigkeit offen ist.

Abweichende Ansichten werde ich stets unbefangen aufnehmen und ihre Begründung unparteiisch würdigen. — In diesem Sinne habe ich auch abweichende Meinungen, welche bei Besprechung oder Reproduktion meiner früheren Ver-

öffentlichungen geäussert worden sind, stets gerne berücksichtigt, wenn sie sich als im Interesse der Sache aufgestellt und begründet erwiesen haben, und habe sie rückhaltlos angenommen, wenn ich ihrer Begründung beistimmen konnte. — Hämische Tadelsucht richtet sich aber selbst und hat keinen Anspruch auf Berücksichtigung.

Da mir trotzdem, dass ich mich bereits an mehreren Orten direkter und indirekter darüber ausgesprochen habe, neuerdings wieder durch SCHATZ die Meinung untergeschoben worden ist, dass ich die Mitwirkung von Muskelthätigkeiten oder Muskeltonus bei den verschiedenen Haltungen durchaus läugnen wolle, — so benutze ich noch diesen Ort, um des Bestimmtesten zu erklären, dass dieses meine Meinung keinesweges ist. Zur Bestätigung verweise ich auf verschiedene Stellen dieser Schrift, z. B. auf den Abschnitt über die fixirenden Kräfte in den Gelenken, über die Mittellage der Gelenke, über die Haltung der Schulter, namentlich aber auf den Schluss des Abschnittes über die Elemente des Knochengerüstes und deren Vereinigungsweise S. 56, an welch letzterem Orte ich meine Stellung zu dieser Frage sehr bestimmt bezeichnet habe.

Zürich, im September 1872.

Hermann Meyer.

I. Beiträge zur Mechanik des menschlichen Knochengerüstes in Müller's, beziehungsweise Reichert's und Dübois-Reymond's Archiv.

1. 1853. S. 9—44. Das aufrechte Stehen.
2. 1853. S. 365—396. Das aufrechte Gehen.
3. 1853. S. 497—547. Die Mechanik des Kniegelenks.
4. 1853. S. 548—573. Die Individualitäten des aufrechten Ganges.
5. 1854. S. 478—511. HORNER, über die normale Krümmung der Wirbelsäule, mit einer Nachschrift von H. M.
6. 1861. S. 137—178. Die Beckenneigung.
7. 1865. S. 719—731. Das Kiefergelenk.
8. 1866. S. 464—480. Das Ellenbogengelenk.
9. 1866. S. 657—669. Das Handgelenk.
 S. 670—676. Nachtrag: Einige Worte über Beugung, Streckung, Supination und Pronation.
10. 1867. S. 615—628. Die Architektur der Spongiosa.
11. 1869. S. 1—29. Ueber die Kniebeugung in dem abstossenden Beine und über die Pendelung des schwingenden Beines im gewöhnlichen Gange.

II. Vereinzelte Abhandlungen über Mechanik des Knochengerüstes.

1. Versuche über die Verrenkungen des Hüftgelenkes und deren Einrichtung. — HENLE und PFEUFER's Zeitschrift. Bd. IX. 1850. S. 269—288.
2. Die Missgestaltungen des Knochengerüstes durch Rachitis und Osteomalacie. — Ibid. N. F. Bd. III. 1853. S. 161—188.
3. FISCH, über den Mechanismus der Vorderarmluxation nach hinten. — Ibid. N. F. Bd. V. 1854. S. 235—245.
4. Ueber angeborene Wirbelsäulenkrümmungen. — Ibid. N. F. Bd. VI. 1855. S. 152—171.
5. Die Mechanik der Skoliose. — VIRCHOW's Archiv. Bd. XXXV. 1866. S. 225—253.
6. Zur Lehre von der Skoliose. — Ibid. Bd. XXXVI. 1866. S. 144—145.
7. Die Mechanik des Sitzens mit besonderer Rücksicht auf die Schulbankfrage. — Ibid. Bd. XXXVIII. S. 15—30.
8. Ueber gewaltsame Streckung von Kontrakturen, insbesondere des Kniegelenkes. — LANGENBECK's Archiv für Chirurgie. 1866. S. 169—176.
9. Ueber die Haltung der Lendenwirbelsäule. — VIRCHOW's Archiv. XLIII. S. 145—162.
10. Die wechselnde Lage des Schwerpunktes in dem menschlichen Körper. — Leipzig. ENGELMANN. 1863.

III. Vereinzelte Abhandlungen über Knochen- und Knorpelgewebe im gesunden und kranken Zustande.

1. Der Knorpel und seine Verknöcherung. — MÜLLER's Archiv 1849. S. 292—352.
2. Ueber den Bau rachitischer Knochen. — Ibid. 1849. S. 358—364.
3. Beiträge zur Lehre von den pathologischen Verknöcherungen. — HENLE u. PFEUFER's Zeitschrift. N. F. Bd. I. 1851. S. 80—93.
4. Osteophyt, Osteoporose, Osteomalacie und Rachitis. — Ibid. N. F. Bd. III. 1853. S. 143—161.
5. HILTY, der innere Callus, seine Entstehung und Bedeutung. — Ibid. N. F. Bd. III. 1853. S. 189—197.
6. NÜSCHELER, einige Worte über die Bedeutung der pathologischen Veränderungen im Gelenkknorpel. — Ibid. N. F. Bd. VI. S. 126—143.
7. Ein Wort über *atrophia concentrica ossium* und *malum senile*. — Ibid. N. F. Bd. VI. S. 143—150.
8. Zur Kenntniss der *periostitis infantum*. (Rachitis). — Ibid. N. F. Bd. VI. 150—151.
9. Ueber Schädelmissbildungen. — Monatsschrift des wissenschaftlichen Vereins in Zürich. — Jhrg. II. 1857. S. 310—312.
10. Einige Fälle interessanter Heilung von Schädelverletzungen. — LANGENBECK's Archiv für Chirurgie. II. 1859. S. 85—101.

IV. Populäres.

1. Die neuere Gymnastik und deren therapeutische Bedeutung. — Zürich. MEYER und ZELLER. 1857.
2. Die menschliche Hand. — Ibid. 1858.
3. Die richtige Gestalt der Schuhe. — Ibid. 1858.

INHALT.

Seite

Einleitung 1
Vorbegriffe aus der Mechanik 8
1. Festigkeit und Elasticität 8
2. Parallelogramm der Kräfte 11
3. Der Hebel 13
4. Der Schwerpunkt 26
Die Materialien, aus welchen das Knochengerüste aufgebaut ist 31
Der ganze Knochen 34
1. Die Leistungsfähigkeit des Knochens 35
2. Die Architektur der Spongiosa 40
3. Der kranke und der unentwickelte Knochen 46
Die Elemente des Knochengerüstes und deren Vereinigungsweise 52
Der Aufbau des menschlichen Knochengerüstes im Vergleich mit dem Knochengerüste der Wirbelthiere überhaupt 58
1. Vergleichende Statik des Knochengerüstes 59
2. Vergleichende Mechanik des Knochengerüstes mit besonderer Rücksicht auf die Lokomotion 65
Die Gelenke 83
1. Reibungswiderstand 83
2. Adhäsion und Luftdruck 84
3. Fixirende Kräfte 87
4. Gestalt der Gelenkflächen 89
5. Luxation und deren Einrichtung 91
6. Gleichgewichtslage der Gelenke 94
7. Bewegungsrichtung und Stellung 97
Die obere Extremität 103
1. Die Schulter 105
A. Die Lage der Knochen in der Schulter und dem Schultergelenk . . 106
B. Die Bewegungen des Schultergelenkes 114
C. Die Bewegungen der Schulter 118
a. Primäre Bewegungen des Schultergürtels 119
b. Primäre Bewegungen des Humerus 127
α. Der belastete Arm 129
β. Der emporgestossene Arm 133
c. Der Humerus als *punctum fixum* 137
d. Das Schlüsselbein 140
2. Das Ellenbogengelenk 141
A. Die Flexionsebene 141
B. Die Muskeln 144
C. Die Bänder 152
D. Die Einfügung des Radius 154
E. Die Artikulation der Ulna 156
F. Die Artikulation des Radius 161
G. Die Lage des Ellenbogengelenkes 164
3. Das Handgelenk 164
A. Das *os lunatum* 166
B. Artikulation zwischen Hand und Meniskus 167
C. Artikulation zwischen Meniskus und Unterarm 172
D. Radiale und ulnare Flexion 175
E. Mittlere Stellung 176
4. Die Finger 178
Der Daumen 185

Seite
Der ganze Körper in der Ruhe 190
1. Liegen 191
2. Stehen 192
3. Knieen 194
4. Hocken 197
5. Sitzen 198
6. Die Lage des Schwerpunktes in dem Körper 203
Die Wirbelsäule 208
1. Die Bewegungen der Wirbelsäule 209
2. Die Haltungen der Wirbelsäule 214
3. Entstehung der Gestalt der Wirbelsäule 219
4. Die Missgestaltungen der Wirbelsäule 226
Der Kopf 232
1. Haltung des Kopfes 232
2. Die Schädelbasis 233
3. Das Hinterhauptsgelenk 237
4. Das Kiefergelenk 241
Der Brustkorb 252
1. Der Mechanismus der einzelnen Rippe 257
2. Die Bewegung des ganzen Brustkorbes 265
3. Die bewegenden Kräfte an dem Brustkorb 271
4. Der Ruhezustand des Brustkorbes 277
Das Becken 280
1. Das belastete Becken 281
Das rachitische und osteomalacische Becken 291
2. Die Einwirkung des belasteten Beckens auf das Bein 293
3. Die Beckenneigung 295
Wirbelsäule und Beinstellung 302
Der Gang 305
1. Die Elemente des Ganges 306
2. Die Varietäten des Ganges 322
3. Die gebräuchliche Art des Ganges 330
Die untere Extremität 333
1. Das Hüftgelenk 334
A. Die Axen des Hüftgelenkes 335
B. Die Gestalt des Femurkopfes 337
C. Die mittlere Stellung des Femur 339
D. Die Hemmungsbänder 341
E. Die Muskeln des Hüftgelenkes 345
F. Die Gestalt des Femur 352
2. Das Kniegelenk 355
A. Uebersicht über Bau und Bewegungen des Kniegelenkes 355
B. Die Kondylen des Femur und die Flexion und Extension 359
C. Die Kondylen der Tibia und die Rotation in der Beugung 363
D. Verbindung beider Bewegungsarten 365
E. Die Bänder und die Menisken des Kniegelenkes 367
F. Die Muskeln des Kniegelenkes 371
Anhang: *Genu valgum* 376
3. Der Fuss 377
A. Der Fuss als Gewölbe 377
B. Der Aufbau des Fusses 379
a. Der Fuss im engern Sinne 379
b. Der Astragalus 382
c. Die Feststellung des Fusses 386
C. Das Fussgelenk 388
D. Der Mittelfuss und die Zehen 393
E. Das Stehen auf den Zehen 394
F. Die Muskeln des Fusses 397
Anhang: Die Missgestaltungen des Fusses 400

Einleitung.

Eine Mechanik und Statik des menschlichen Knochengerüstes hat die Aufgabe, die Gesetze der Bewegungen und der Ruhe in dem menschlichen Körper zu untersuchen, und hat sich zur Lösung dieser Aufgabe zunächst an die durch das menschliche Knochengerüste und dessen Annexa gegebenen Verhältnisse zu halten.

Es mag allerdings als etwas Auffallendes erscheinen, wenn bei einer solchen Untersuchung das Knochengerüste als etwas Selbstständiges in den Vordergrund gestellt wird, während es doch bekannt ist, dass die Muskeln allein es sind, welche die Bewegungen zu Stande bringen, — und während ein Blick auf die Thierreiche es als unzweifelhaft erkennen lässt, dass die Grundgestalt der Rumpfwandung der muskulose Schlauch ist, in dessen Substanz die Knochen nur als modifizirende Einlagerung erscheinen.

Nichts destoweniger ist eine Auffassung vollständig gerechtfertigt, welche von dem Knochengerüste als einer selbstständigen Bildung ausgeht, die massgebend für alle mechanischen und statischen Verhältnisse des Körpers dasteht.

Alle Theile desselben sind ja unter einander zu einem Ganzen vereinigt, welches in architektonischer Beziehung die wirkliche Grundlage für den Aufbau des ganzen Körpers wird, und deswegen auch der Hauptsache nach die äussere Gestalt des Körpers bestimmt. Ein wohlgebautes Knochengerüste bedingt ebensowohl einen im Allgemeinen wohlgebauten Körper, wie Missgestaltungen des Knochengerüstes in der Gestalt seiner einzelnen Stücke oder in der Anordnung der Knochenkombinationen als Missgestaltungen des ganzen Körpers in die Erscheinung treten. Rachitisch verkrümmte Oberschenkel- und Unterschenkelknochen bedingen bekanntlich die Krummbeinigkeit, gewisse fehlerhafte Gestaltungen der Wirbelsäule den Höcker oder Buckel etc.

Ferner wird auch das Knochengerüste durch die Gestaltung seiner einzelnen Theile wesentlich massgebend für die Art und Weise, wie die

Thätigkeit der Muskeln in die äussere Erscheinung tritt. — Die Muskelkontraktion ist ja in allen Muskeln derselbe einfache Akt. Dass er in einem bestimmten Falle als Flexion oder Rotation oder in anderer Weise in die Erscheinung tritt, hängt nur von der Gestaltung des angegriffenen Knochens, namentlich von der Gestaltung seiner Gelenkflächen ab. Würde z. B. das *capitulum radii* nicht drehrund sein und mit seiner *cavitas glenoides* auf der kugeligen *rotula* des Humerus aufsitzen, so würde die Kontraktion des *m. biceps brachii* niemals eine supinatorische Bewegung der Hand zu Stande bringen, sondern nur eine flexorische für das Ellenbogengelenk, — und wäre das Hüftgelenk ein Drehgelenk und nicht eine Arthrodie, so würde der *m. glutaeus maximus* nur eine extendirende Wirkung haben und nicht auch zugleich eine adduzirende und rotirende.

Noch deutlicher tritt der massgebende Einfluss des Knochengerüstes auf die Wirkungsweise der Muskeln hervor, wenn man sich für diejenigen Fälle, in welchen eine solche Auffassung leicht gestattet ist, das ursprüngliche Muskelschema und dessen Wirkungsweise vergegenwärtigt und dann untersucht, in welcher Weise die Wirkung der Muskeln dadurch modifizirt wird, dass deren Kontinuität durch eingeschaltete Knochenstücke unterbrochen wird. Man kann dann finden, dass die Wirkung eines Muskels dadurch gerade die entgegengesetzte von derjenigen werden kann, welche ihm ohne die Knocheneinschaltung zukommen würde. Ja! man sieht sogar, dass einzelne Theile desselben Muskelzuges dadurch in antagonistisches Verhältniss gegen einander treten können. Ein schlagendes Beispiel für dieses Verhalten bietet der schräg absteigende Rumpfmuskelzug, welcher von den *processus transversi* der Hals- und Brustwirbelsäule entspringend in der Mittellinie des Körpers mit demjenigen der anderen Seite in der *linea alba* zusammentrifft. Seiner ganzen Anordnung nach ist dieser Zug ein Verengerer der Rumpfhöhle und zwar sowohl in longitudinaler als auch in transversaler Richtung, — durch die Einschaltung der Rippen wird aber ein Theil desselben zu einem Erweiterer der Rumpfhöhle, derjenige nämlich, welcher als *m. scaleni*, *m. levatores costarum* und *m. intercostales externi* bekannt ist, während der andere Theil, der den *m. obliquus abdominis externus* konstituiren hilft, seine verengernde Wirkung beibehält. — Bei dem zweiten ergänzenden schräg absteigenden Zug, welcher als *m. rhomboides* an den *processus spinosi* der Wirbelsäule beginnt und sich in dem *m. obliquus abdominis externus* mit dem vorher erwähnten Zuge vereinigt, ist eine ähnliche Theilung wahrzunehmen; der untere Theil (Antheil an dem *m. obliquus abdominis externus*) bleibt Verengerer der Rumpfhöhle, der obere Theil ist Heber der Rippen und damit zugleich Erweiterer der Rumpfhöhle; daneben zerfällt er aber auch wieder durch Einschaltung der *basis scapulae* in die

beiden antagonistisch wirkenden Theile *m. rhomboides* und *m. serratus magnus*.

Hat man einmal an solchen Beispielen, wie die angeführten, den Grundsatz gewonnen, dass Muskeln, welche mit ihren Verlaufsrichtungen in Kontinuität stehen, als ein Einheitliches angesehen werden können, bei welchem die Trennung in zwei antagonistische Theile nur durch die Einschaltung des betreffenden Knochens hervorgebracht ist, so ist es leicht, in allen Fällen zwei als direkte Antagonisten angeordnete Muskeln als eine einheitliche Muskelschlinge anzusehen, in deren Scheitel der betreffende Knochen eingefügt ist. Man gewinnt durch eine solche Auffassung für viele Fälle bedeutend an Einfachheit und wird dieselbe deshalb sehr anwendbar finden. — Ein solcher Schlingencharakter tritt uns sehr deutlich in dem *m. pectoralis major* und dem *m. latissimus dorsi* entgegen, indem deren Anheftung an dem Humerus der Art ist, dass beide Muskeln fast in einander übergehen und dass der Humerus dem Scheitel der dadurch gebildeten Schlinge gewissermassen nur von aussen her aufgelegt erscheint. Eine solche Auffassung wird noch wesentlich unterstützt durch die nicht seltene Varietät, in welcher nach innen von dem Gefäss- und Nervenbündel des Armes ein verbindender Strang beider Muskeln von fibroser oder muskuloser Beschaffenheit gefunden wird. — Eine ähnliche Schlinge, welche als solche leicht erkannt wird, bilden an dem Radius der *m. pronator teres* und der *m. supinator brevis*. In gleicher Weise können auch der *m. flexor carpi radialis* und der *m. extensor carpi radialis longus* als eine Schlinge angesehen werden, in deren Scheitel die Basis des Zeigefinger-Metacarpus-Knochens eingeschaltet ist etc.

Die gegebene Auseinandersetzung lässt genügend erkennen, dass die Anordnung der Knochen massgebend dafür wird, wie die Muskelzusammenziehungen als Bewegungen in die Erscheinung treten. Dass auch die statischen Verhältnisse in dem Körper wesentlich durch das Knochengerüste bedingt sind, geht schon aus der bekannten Starrheit des Knochengewebes hervor, durch welche dasselbe den Theilen der Rumpfwandung und der Extremitäten Steife und Stütze zu gewähren im Stande ist. Indessen kann dieses zunächst nur von den einzelnen Knochen gelten; damit aber eine Vereinigung von Knochen, wie sie das Knochengerüste darbietet, einer solchen Bedeutung entsprechen könne, ist eine Anordnung nothwendig, welche im Stande ist, die Beweglichkeit zwischen zwei einzelnen Knochen aufzuheben und diese dadurch in mechanischer Beziehung vorübergehend zu einer Einheit zu gestalten. Diese Anordnung erkennen wir in den B ä n d e r n.

Die Bänder sind nämlich durch ihre Widerstandsfähigkeit die wichtigsten Hemmungsmittel für die Bewegungen und dadurch auch Hülfsmittel für solche vorübergehende Vereinigung zweier sonst gegen einander

beweglicher Knochen zu einem einheitlichen Ganzen, welches als Knochenkombination bezeichnet werden kann. — Wenn irgend eine Kraft, sei es Muskelkraft oder Schwere, den einen von zwei gegeneinander beweglichen Knochen so lange bewegt, bis ein dieser Bewegung antagonistisch gegenüberstehendes Band in Spannung geräth, so wird damit einestheils die weitere Bewegung gehemmt, anderntheils muss aber auch damit ein festes Aufeinanderdrücken der beiden Knochen gegeben sein; denn die einwirkende Gewalt muss als eine Kompenente mit dem Bandwiderstande als zweiter Komponente eine Resultirende erzeugen, welche die beiden Knochen fest aufeinander drückt, und diese Wirkung der beiden Kräfte muss allein in die Erscheinung treten, weil die drehenden Wirkungen beider sich gegenseitig aufheben. — Eine solche feste Verbindung der beiden Knochen muss demnach so lange bestehen bleiben, als die bewegende Kraft, welche gemeinsam mit der Bandspannung die Fixirung hervorruft, in Thätigkeit bleibt.

Kombinationen dieser Art können durch zwei Knochen erzeugt werden oder auch durch eine grössere Anzahl von Knochen. Für die Statik des Körpers sind natürlich solche Kombinationen die wichtigsten, welche durch die Schwere in Verbindung mit Bänderspannung hervorgerufen werden. Als Beispiele möge dienen die einfache Kombination zwischen Becken und Femur im Stehen, bei welchem die Schwerlinie hinter dem Hüftgelenke hinunterfällt; das gegenspannende Band ist hier das *ligamentum ileo-femorale;* — als Beispiel einer zusammengesetzteren Kombination steht der Fuss da, welcher durch die belastende Schwere und die Gegenspannung der plantaren Bänder zu einem in sich unbeweglichen Gewölbe gestaltet wird.

Für die statischen Verhältnisse des Knochengerüstes gewinnen demnach die Bänder dieselbe hohe Bedeutung, wie für die mechanischen Verhältnisse (Bewegungen) die Muskeln; für die Aeusserung ihrer Wirkung ist aber bei beiden die Gestalt und die Eigenschaften der einzelnen Theile des Knochengerüstes massgebend.

Wie wir aber überall in dem Organismus Wechselwirkung zwischen den einzelnen Theilen finden, so auch hier. Wenn die Theile des Knochengerüstes und das ganze Knochengerüste massgebend werden für die Muskelwirkungen, die Bänderwirkungen und die statischen Verhältnisse des Körpers, so sehen wir dagegen auch wieder alle diese Beziehungen Einfluss gewinnen auf die Gestaltung der einzelnen Knochen und des ganzen Knochengerüstes.

Zunächst finden wir hier einen Einfluss auf die äussere Gestaltung der Oberfläche, im Weiteren aber auch auf die Gestaltung des ganzen Knochens.

An den Ansatzstellen stärker wirkender Muskeln entstehen durch örtliche stärkere Entwickelung der Knochensubstanz vorspringende Leisten, Stacheln, Höcker, welche, wenn bedeutender entwickelt, dem Knochen oft eine sehr charakteristische Gestalt geben können. Ein Beispiel für das Letztere geben die durch starke Fortsätze ausgezeichneten Knochen des Schultergürtels und der vorderen Extremität bei grabenden Thieren (*talpa, dasypus*).

Wo dagegen Muskelbäuche oder Sehnen einen Seitendruck auf eine Knochenoberfläche ausüben, wird an der Stelle des Druckes die Entwickelung der Knochensubstanz gehemmt; diese Stellen bleiben dann im Wachsthum zurück und stellen sich in Folge dessen als flächenhaftere Vertiefungen oder schmalere Rinnen dar. Druck von Bändern auf die Oberfläche eines Knochens hat natürlich die gleiche Folge. Auf solche Art entstehen die zahlreichen Rinnen auf der Dorsalseite des unteren Endes des Radius, — der tiefe Einschnitt auf dem vorderen Beckenrande, in welchem der *m. ileo-psoas* gelegen ist, — die Ausbuchtung der *crista tibiae* nach innen durch den Seitendruck des *m. tibialis anterior*, — und ferner der *sulcus popliteus* des Femur, das collum des *processus odontoides* des Epistropheus etc.

Dass auch grössere und gröbere Formen der Knochen unter dem Einflusse und durch den Einfluss der Muskelwirkungen entstehen können, ist sehr wahrscheinlich. Die Abknickung des menschlichen Trochanters nach hinten kann man sich z. B. wenigstens sehr leicht als die Folge denken von der Thätigkeit der starken Muskeln, welche von hinten her kommend sich an denselben ansetzen. Es ist hier noch ein reiches Feld für die Beobachtung und den Versuch offen, auf welchem bis jetzt noch wenige Arbeiten unternommen worden sind. Aeltere, mehr skizzenhafte Experimentaluntersuchungen über diesen Gegenstand liegen von Ludwig Fick[1]) vor. In neuerer Zeit hat Kehrer[2]) den Einfluss der Muskeln auf die Entwickelung des Beckens durch Versuche an Kaninchen nachgewiesen, indem er neugeborenen Thieren auf der einen Seite das Femur amputirte oder exartikulirte und dann die entsprechende Beckenseite später enger und kürzer fand. — Mehr in das Pathologische übergehend ist die Arbeit von Lucä[3]), in welcher er durch sehr genaue Studien nachweist, wie der krankhaft weiche Knochenbau des Schädels

1) Ueber die Ursachen der Knochenformen. 1857. — Neue Untersuchungen über die Ursachen der Knochenformen. 1859.

2) Beiträge zur vergleichenden und experimentellen Geburtskunde. Drittes Heft: Pelikologische Studien. 1869.

3) Der Schädel des Maskenschweines (*sus pliciceps Gray*) und den Einfluss der Muskeln auf dessen Form. 1870.

von *Sus plicipes Gray* durch die Einwirkung der Muskeln während der Entwickelung von der Erreichung der normalen Gestaltung abgelenkt und in bestimmte charakteristische Formen gedrängt wird.

Ein recht hübsches Beispiel für die Folgen der Einwirkung des Zuges und des Seitendruckes der Muskeln gibt die eigenthümliche Bildung, welche bisweilen an der Skapula zu beobachten ist. Es kommt nämlich manchmal als Varietät vor, dass derjenige Theil des *m. rhomboides,* welcher gewöhnlich als *m. rhomboides major* besonders beschrieben wird, sich nicht der ganzen Länge nach an den ihm zukommenden Theile der *basis scapulae* ansetzt, sondern nur an dem untersten Theile derselben zunächst der Spitze. Der äussere Rand des alsdann dreieckigen Muskels liegt in diesem Falle dem nicht als Ansatz dienenden Theile der *basis scapulae* an, durch Zellgewebe mehr oder weniger fest an denselben angeheftet. An der Stelle, an welcher diese Anlagerung sich findet, ist dann der Rand der Skapula, anstatt gerade oder gegen die Wirbelsäule hin leicht konvex zu sein, mehr oder weniger tief ausgeschweift, so dass er der Wirbelsäule eine konkave Seite zuwendet, deren Entstehung auf das doppelte Verhältniss zurückzuführen ist, nämlich Mangel des Insertionszuges und Seitendruck des abweichend gestalteten *m. rhomboides*, und welche relativ noch vertieft wird durch stärkere Entwickelung der Spitze der Skapula gegen innen in Folge des Zuges des *m. rhomboides.*

Die statischen Verhältnisse wirken in ähnlicher Weise, wie es oben von dem Seitendrucke der Sehnen und Bänder angegeben wurde. Gedrückte Stellen werden am Wachsthum gehindert und vielleicht werden auch solche Stellen, an welchen Bänderzerrung stattfindet, im Wachsthum gefördert. Desgleichen werden auch durch Zerrung oder Druck die Entwickelungen der gröberen Gestaltungen beeinflusst. Auf diese Weise wird der fünfte Lendenwirbel und der erste Kreuzbeinwirbel durch die Promontorium-Einknickung an der hinteren Seite des Körpers in der Entwickelung gehindert, so dass beide nach vollendeter Ausbildung hinten niedriger sind als vornen; — so ist auch ohne Zweifel die stark nach hinten gestellte Richtung der *processus transversi* des fünften Lendenwirbels und die diesem gegenüberliegende Einknickung des Hüftbeinkammes Folge des Zuges der *ligamenta ileo-lumbalia;* — vielleicht ist auch die Abknickung des oberen Drittels des Femurkörpers Folge der Belastung desselben; wenigstens ist es bemerkenswerth, dass dieselbe Stelle des Femur bei Rachitischen, welche weniger resistenzfähige Knochen besitzen, sehr stark eingeknickt zu sein pflegt.

Aehnlich wie die statischen Druckwirkungen müssen auch diejenigen in die Erscheinung treten, welche durch fortgesetzten äusseren Druck hervorgebracht werden, indem auch durch einen solchen örtliche Hemmung der Entwickelung und Abänderung in der Richtung des Wachs-

thums erzielt werden kann. — Beweis hierfür liefern die Schädel der Kariben, die Füsse der vornehmen Chinesinnen und die grosse Zehe der beschuhten Europäer.

Es ist natürlich, dass alle die genannten Einwirkungen der Muskeln, Sehnen, Bänder, der Schwere und des äusseren Druckes auf den bereits ausgebildeten Knochen nur sehr wenig Einfluss üben können und dass namentlich alle diejenigen Einwirkungen, welche durch Hemmung der Entwickelung ihre Folgen in die Erscheinung treten lassen, nur während des Wachsthums diese Folgen veranlassen können. Ferner ist es auch durch sich einleuchtend, dass der Einfluss der Einwirkungen um so grösser sein muss, je nachgiebiger das Knochengewebe ist. Hierdurch wird nun einerseits wieder darauf hingewiesen, dass der unfertige, noch in der Entwickelung begriffene Knochen die Folgen der ihn treffenden Einwirkungen am Leichtesten muss erkennen lassen, — und andererseits ergibt sich auch daraus, dass pathologisch nachgiebigere Knochen während der Entwickelung (Rachitis) oder nach vollendeter Ausbildung (Osteomalacie) in dieser Beziehung sich vor allen anderen auszeichnen müssen.

So lange die die Bildung der Knochen beeinflussenden Verhältnisse nur innerhalb gewisser Grenzen auf gesunde Knochen einwirken, werden sie die bekannten als normal angesehenen Gestaltungen der Knochen und Haltungen der Knochenkombinationen hervorbringen müssen. Uebermässige Einwirkung, ungewöhnliche Art derselben oder veränderte, namentlich verminderte Widerstandsfähigkeit der Knochen müssen aber ebenso nothwendig zur Bildung ungewöhnlicher und deshalb als abnorm bezeichneter Gestaltungen und Haltungen führen. In so fern die letzteren sich in der äusseren Erscheinung des ganzen Körpers aussprechen, werden sie als Missgestaltungen desselben bezeichnet.

Das Knochengerüste ist demnach allerdings durch seine Anordnung massgebend für die Bewegungen (Mechanik) und die Ruhehaltungen (Statik) des menschlichen Körpers; indessen wird dasselbe selbst auch durch die dabei in Wirksamkeit tretenden Kräfte beeinflusst und in seinen Gestaltungen und Haltungen dadurch in höherem oder niedrigerem Grade bestimmt.

Vorbegriffe aus der Mechanik.

Für die Vorbegriffe aus der Mechanik, welche für das Verständniss der folgenden Untersuchungen nothwendig sind, ist allerdings zwar auf die Lehrbücher der Mechanik hinzuweisen, indessen mag es doch gestattet sein, die wichtigsten der hier zu verwendenden Sätze der Mechanik in Kürze hinzustellen, um an dieselben die Ausführung einiger Sätze anzuknüpfen, welche spezielle Anwendung auf die Mechanismen des Knochengerüstes finden.

1. Festigkeit und Elasticität.

Jede Substanz setzt der durch eine äussere Gewalt erstrebten Aenderung ihres Aggregatzustandes einen Widerstand entgegen und dieser wird als »Festigkeit« der Substanz bezeichnet. — Nach dem Aufhören der Einwirkung der äusseren Gewalt bedingen dieselben Kräfte, welche in dem Widerstande thätig gewesen sind, eine Rückkehr des gestörten Aggregatzustandes zu seinen normalen Verhältnissen; und diese Wirkungsäusserung jener Kräfte benennt man als »Elasticität« der Substanz. — »Festigkeit« und »Elasticität« sind also nur verschiedene Arten, wie die Aeusserung derselben Kräfte in die Erscheinung tritt.

Um diese Verhältnisse zu erklären, hat man sich zu denken, dass der Aggregatzustand einer Substanz dadurch zu Stande kommt, dass die Moleküle derselben in einer gewissen gegenseitigen Entfernung sich in Ruhe befinden. Diesen Zustand der Ruhe hat man sich zu denken als hervorgebracht durch Gleichgewicht zwischen anziehenden und abstossenden Kräften, die in den Molekülen wirksam sind. In Bezug auf die ganze Substanz können die in den Molekülen wirkenden anziehenden Kräfte als »kondensirende« und die abstossenden als »expandirende« bezeichnet werden. Ueberwiegende Wirkung der ersteren bedingt einen dichteren, überwiegende Wirkung der letzteren einen lockereren Aggregatzustand.

Eine Störung des Aggregatzustandes kann natürlich nur nach einer dieser beiden Seiten hin geschehen und es kann deshalb eine äussere Gewalt nur zweierlei Veränderungen des Aggregatzustandes hervorbringen, nämlich:

1) Lockerung desselben bis zur Zerreissung;
2) Verdichtung desselben.

Der ersteren dieser beiden Veränderungen müssen die kondensirenden Kräfte Widerstand leisten und dieselbe nach Aufhören der Einwirkung der äusseren Gewalt wieder aufheben. Der letzteren dagegen müssen die expandirenden Kräfte Widerstand leisten und diese müssen dann auch nach Aufhören der äusseren Gewalteinwirkung den vorher dagewesenen Aggregatzustand wieder herstellen.

Es kann demnach nur zwei Arten geben, in welchen sich die Festigkeit äussern kann, nämlich als:

1) Widerstand gegen Tension, d. h. gegen Lockerung und Zerreissung: »absolute Festigkeit« und
2) Widerstand gegen Verdichtung oder Kompression: »rückwirkende Festigkeit«;

und in gleicher Weise kann sich auch die Elasticität nur in zweierlei Art äussern, nämlich als:

1) absolute Elasticität oder Tensionselasticität, welche eine Lockerung des Aggregatzustandes wieder aufhebt, und
2) rückwirkende Elasticität oder Kompressionselasticität, welche eine Verdichtung des Aggregatzustandes wieder aufhebt.

Torsionsfestigkeit und Torsionselasticität sind nur Modifikationen der absoluten Festigkeit und der absoluten Elasticität; sie bezeichnen nämlich nur diejenige Aeusserungsweise der letzteren, welche an einem torquirten Gegenstande in die Erscheinung tritt. Das Auszeichnende der Torsion gegenüber der Tension ist, dass bei letzterer die Moleküle einer Substanz alle in der gleichen Richtung aus einander gezogen werden, während dagegen bei der Torsion eine seitliche Verschiebung stattfindet und zwar an den nach aussen gelegenen Theilen des Gegenstandes in höherem Grade als an den inneren Theilen desselben.

Obgleich nun hiermit die möglichen Erscheinungsweisen der Festigkeit und der Elasticität erschöpft scheinen, stellt die Mechanik doch noch auf: eine

relative Festigkeit und eine
relative Elasticität oder Biegungselasticität.

Beide Begriffe sind unreine, weil gemengte, Begriffe und stellen neue Arten der Festigkeit und der Elasticität nicht auf.

Unter relativer Festigkeit versteht man nämlich den Widerstand, welchen ein Gegenstand einer Biegung entgegenstellt. Die Vorgänge innerhalb eines Körpers bei Einwirkung einer biegenden Gewalt sind aber nicht einfache, indem die Biegung an der konvexen Seite des gebogenen Gegenstandes die absolute Festigkeit desselben durch Dehnung in Anspruch nimmt, an der konkaven Seite dagegen die rückwirkende Festigkeit durch Kompression. Zwischen der Dehnung auf der einen Seite und der Kompression auf der anderen Seite muss dann als Uebergangsstelle eine Strecke in dem Körper sein, welche weder eine Dehnung noch eine Kompression erfährt. Diese Strecke wird als »neutrale Axe« bezeichnet. Der Name »Axe« weist darauf hin, dass man sich diese Strecke als eine in dem Körper gelegene Linie denkt, welche z. B. bei einem Cylinder mit der mathematischen Axe desselben zusammenfällt. Genau genommen muss aber jene Uebergangsstelle die Gestalt einer Ebene besitzen, welche die konvexe Hälfte des Körpers von der konkaven Hälfte desselben trennt, und eine solche neutrale Ebene muss für jede andere Richtung, in welcher die Biegung geschieht, eine andere Lage haben. — Als neutrale Axe, d. h. als neutrale Linie, kann man sich dann diejenige Linie denken, in welcher diese verschiedenen Ebenen sich durchschneiden, und von diesem Standpunkte aus wird man dann die neutrale Axe als denjenigen linienförmigen Theil eines Körpers aufzufassen haben, welcher bei allen Richtungen der Biegung sowohl von Dehnung als von Kompression unberührt bleibt. — Es kann nicht in Abrede gestellt werden, dass dieses nur ein mathematisches Schema ist und dass man in einem konkreten Falle, in welchem man die neutrale Axe eines Theiles zu bestimmen hat, zufrieden sein darf, wenn man ihre Lage nur annähernd bestimmen kann als die Durchschnittslinie zweier senkrecht zu einander gestellten neutralen Ebenen.

Wie aber auch die neutrale Axe oder besser die neutrale Ebene in einem Körper bei einer Biegung gelegen sein mag, so ist sicher, dass auf der einen Seite derselben die absolute Festigkeit und auf der anderen Seite die rückwirkende Festigkeit der Substanz in Anspruch genommen wird und zwar beide um so mehr, je weiter man sich von der neutralen Ebene entfernt. Der Widerstand, welchen ein Körper der Biegung entgegensetzt, die relative Festigkeit, ist deshalb auch nur eine Mengung gleichzeitig in verschiedenen Theilen des Körpers in die Erscheinung tretender Aeusserungen dieser beiden Festigkeiten.

Aus demselben Grunde ist denn auch die relative Elasticität (Biegungselasticität) nur eine Mengung gleichzeitig in demselben Körper wirkender absoluter (Tensions-) und rückwirkender (Kompressions-) Elasticität.

2. Parallelogramm der Kräfte.

Mit dem Namen des Parallelogramms der Kräfte wird die graphische Darstellung des Gesetzes bezeichnet, welches über die Art und Weise aufgestellt wird, wie zwei in verschiedenen Richtungen auf einen Punkt einwirkende Kräfte sich zu einer Mittelkraft vereinigen.

Die Mittelkraft wird, insofern sie aus den Einzelkräften zusammengesetzt wird, als »Resultirende« oder »Resultante« benannt und die Einzelkräfte, in so fern sie in der Resultirenden vereinigt werden, als »Komponenten«.

In der graphischen Darstellung werden die einzelnen Kräfte durch Linien wieder gegeben; — die gegenseitigen Längenverhältnisse der Linien geben dabei die gegenseitigen Grössenverhältnisse der Kräfte an. Da es hierbei nur auf Darstellung des Verhältnisses ankommen kann, so ist es vollständig gleichgültig, welches absolute Mass als Masseinheit gewählt wird und deshalb kann z. B. das Verhältniss 3 : 4 ebenso gut durch Linien von 3 resp. 4 Millimetern, wie durch solche von 3 resp. 4 Metern dargestellt werden.

Die Konstruktion des Parallelogrammes geschieht auf die Weise, dass man die beiden die Kräfte (Komponenten) bezeichnenden Linien unter Bildung des durch die Richtung der beiden Kräfte bezeichneten Winkels zusammenlegt und dann nach Massgabe dieser beiden Linien ein Parallelogramm konstruirt. Die durch den Konvergenzwinkel der beiden Komponenten gehende Diagonale des Parallelogramms gibt dann die Resultirende nach Richtung und Grösse unmittelbar an. Auf diese Weise ist in nebenstehender Fig. 1 aus den beiden Kräften A und B, welche sich verhalten wie 3 : 4, das Parallelogramm konstruirt und in der Diagonale R die Resultirende gewonnen.

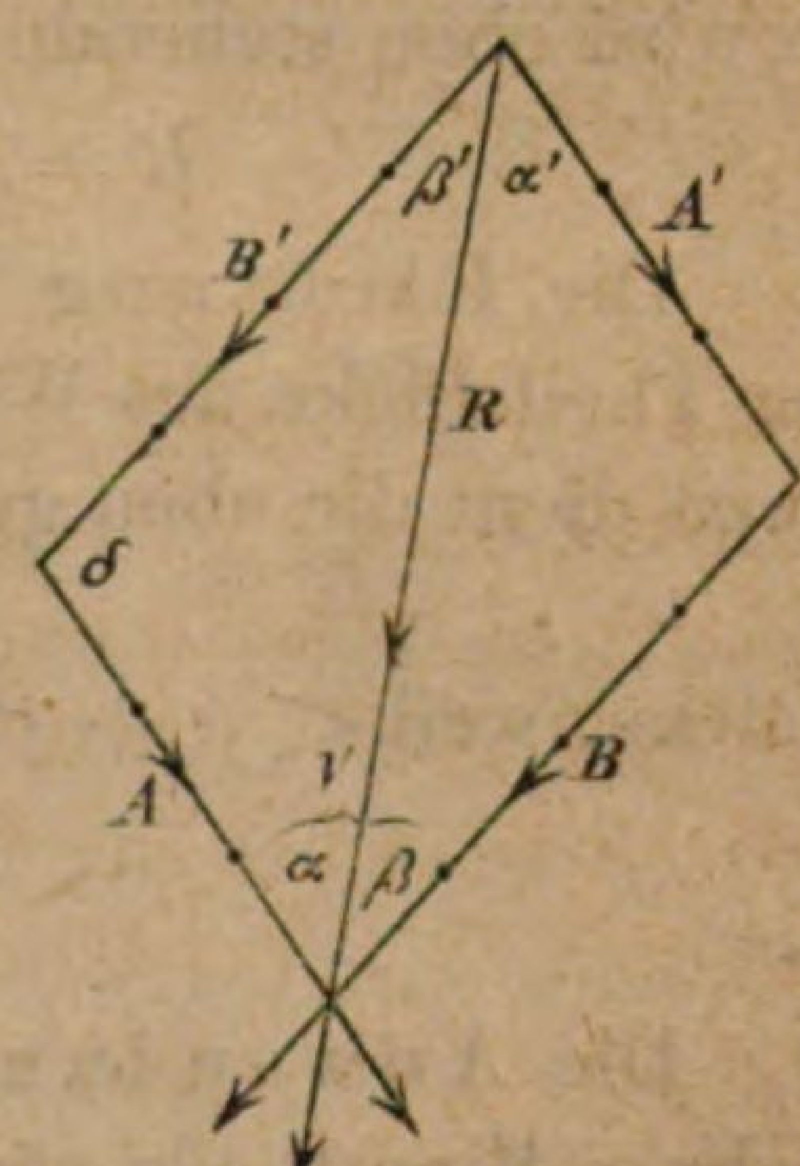


Fig. 1.

Durch die Konstruktion eines solchen Parallelogrammes ist es nicht nur möglich, die gegenseitige Abhängigkeit der Kräfte und ihrer Richtungen in übersichtlicher Weise zur Anschauung zu bringen, sondern man kann dadurch auch alle hierbei entstehenden Fragen auf leichte Weise durch Konstruktion lösen; — und für die Berechnung der Grössen der Kräfte und der für die Kraftrichtungen massgebenden Winkel ist man dabei nur auf einfache trigonometrische Formeln angewiesen. Man hat hierfür nur im Auge zu behalten, dass die Diagonale R, welche die Resultirende an-

deutet, das Parallelogramm in zwei kongruente Dreiecke theilt und den Winkel γ, unter welchem die Kräfte A und B zusammenstossen, in zwei Theile α und β zerlegt.

In dem einen der beiden Dreiecke ist nach bekannter trigonometrischer Formel

$$A : B' = \sin \beta' : \sin \alpha$$

und da

$$B' = B \text{ und } \sphericalangle \beta' = \sphericalangle \beta$$

$$A : B = \sin \beta : \sin \alpha$$

d. h. die Grössen der Komponenten verhalten sich zu einander umgekehrt, wie die Sinus der einer jeden derselben anliegenden, durch die Richtung der Resultirenden erzeugten Theilstücke des Winkels zwischen den Richtungen der beiden Komponenten.

Für die Grösse der Resultirenden ist die trigonometrische Formel zu benutzen:

$$R = \sqrt{A^2 + B'^2 - 2 . A . B' . \cos \delta}$$

da nun aber

$$B' = B$$

und da

$$\sphericalangle \delta = 180 - (\sphericalangle \alpha + \sphericalangle \beta')$$
$$= 180 - (\sphericalangle \alpha + \sphericalangle \beta)$$
$$= 180 - \gamma$$

und da somit

$$\cos \delta = \cos 180 - \gamma$$
$$= - \cos \gamma$$

so wird oben stehende Formel zu:

$$R = \sqrt{A^2 + B^2 + 2 A . B . \cos \gamma}.$$

Die Richtung der Resultirenden ist bestimmt, wenn eines der Theilstücke des Winkels γ durch Hülfe von A und B bestimmt wird. Dazu dient die oben gewonnene Formel

$$A : B = \sin \beta : \sin \alpha$$

welche, weil $\sphericalangle \alpha + \sphericalangle \beta = \sphericalangle \gamma$, verändert wird in

$$A : B = \sin \beta : \sin (\gamma - \beta)$$

oder

$$A : B = \sin (\gamma - \alpha) : \sin \alpha.$$

Die Anwendung des Parallelogramms der Kräfte ist eine zweifache. Einestheils nämlich kann es angewendet werden, um zwei auf einen Punkt einwirkende Kräfte als Komponenten zu einer Resultirenden zu vereinigen; — anderentheils aber auch, um eine gegebene einfache Kraft in zwei getrennte Kräfte zu zerlegen, welche sich zu der einfachen Kraft verhalten wie Komponenten zu einer Resultirenden. Bei der letzteren Anwendung ist um die die einfache Kraft darstellende Linie als diagonale ein Parallelogramm zu konstruiren; von den vielen hier möglichen Parallelogrammen wählt man dann für den speciellen Fall das für diesen geeignetste; das Gewöhnlichste, weil Anwendbarste, ist die Wahl eines Parallelogramm mit rechten Winkeln (Rechteck), — oder mit anderen

Worten: diejenige Zerlegung einer einfachen Kraft, welche die häufigste Anwendung findet, ist die Zerlegung in zwei senkrecht zu einander gestellte Komponenten. Selbstverständlich kann aber auch das Parallelogramm benutzt werden, um eine bei demselben in Rücksicht kommende unbekannte Grösse durch Hülfe der anderen bekannten zu bestimmen.

3. Der Hebel.

Als »Hebel« bezeichnet man eine um einen festen Punkt (Stützpunkt, Drehpunkt, Hypomochlion) drehbare Linie, an welcher drehende Kräfte (in minimo zwei) von entgegengesetzter Richtung ihrer Wirkung thätig sind. Man denkt sich dabei den Hebel nur in einer Ebene (der »Drehebene«) beweglich, und die Richtungen der drehenden Kräfte verlegt man dann ebenfalls in diese Ebene. Ist eine gegebene Kraft, welche nicht in der Drehebene gelegen ist, in ihrem Einflusse auf den Hebel zu untersuchen, so hat man von dieser zunächst nur die in der Drehebene gelegene Komponente allein in Rücksicht zu ziehen.

Die Verbindungslinie zwischen dem Angriffspunkte einer Kraft und dem Stützpunkte wird als Hebelarm dieser Kraft benannt.

Ein Hebel ist einarmig, wenn der Stützpunkt an dem einen Endpunkte desselben ist und die Hebelarme für die beiden drehenden Kräfte deshalb zusammenfallen. Wenn an einem solchen Hebel die drehenden Kräfte in entgegengesetzter Richtung wirken sollen, so müssen sie auch in absoluter Beziehung eine entgegengesetzte Richtung haben, d. h. die eine muss z. B. nach aufwärts, die andere nach abwärts wirken (Fig. 2).

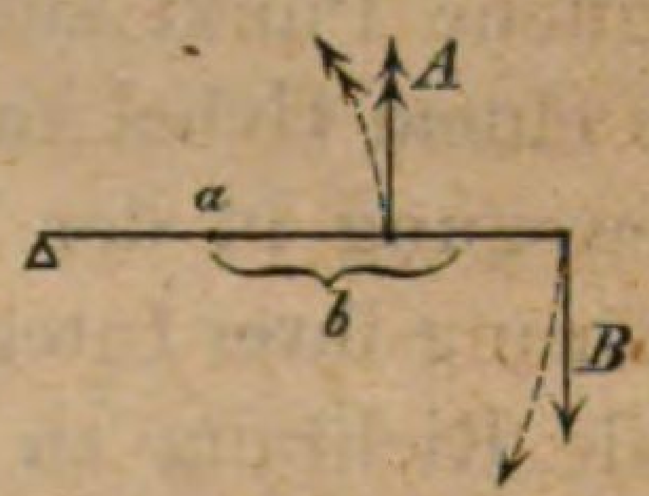


Fig. 2.

Zweiarmig ist der Hebel, wenn der Stützpunkt in der Kontinuität der Linie gelegen ist, so dass die beiden Hebelarme nach entgegengesetzten Richtungen von dem Stützpunkte ausgehen und die Kräfte auf beiden Seiten des Stützpunktes angreifen. Zwei Kräfte, welche hier in entgegengesetztem Sinne drehend einwirken sollen, werden in absoluter Beziehung dieselbe Richtung haben müssen; sie müssen also z. B. beide nach abwärts wirken (Fig. 3).

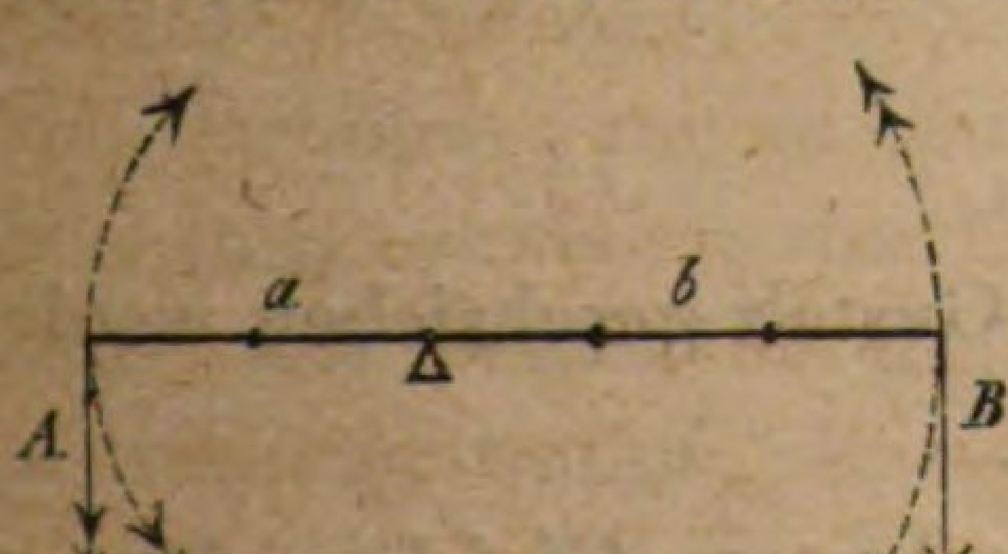


Fig. 3.

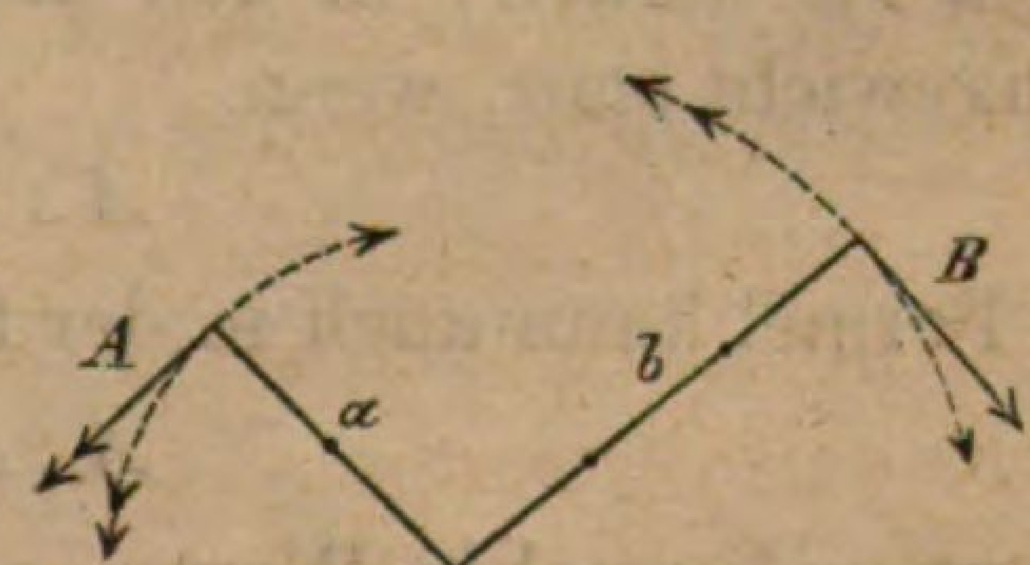


Fig. 4.

Ein Winkelhebel ist ein zweiarmiger Hebel, welcher nicht durch eine gerade Linie gebildet ist, sondern durch zwei gerade Linien, welche

an dem Stützpunkte unter Bildung eines Winkels zusammenstossen (Fig. 4).

Die beiden Kräfte, welche an einem Hebel gegen einander wirken, unterscheidet man auch wohl als »Kraft« und »Last«, indem man dabei vorzugsweise an die Bewegung von Lasten durch Muskelkräfte unter Anwendung des Hebels denkt. Bei einer solchen Anwendung des Hebels pflegt aus bekannten Gründen die Kraft (Muskelkraft) an dem längeren Hebelarm zu wirken und die Last wird zwar mit Kraftersparniss, aber mit Schnelligkeitsverlust bewegt. Wirkt dagegen die Kraft an dem kürzeren Hebelarm, so wird die Last mit grösserem Kraftaufwand, aber dafür mit vermehrter Schnelligkeit bewegt. Ein Hebel, bei welchem das letztere stattfindet, wird deswegen auch wohl als »Wurfhebel« benannt, mag er ein in dieser Weise verwendeter einarmiger oder zweiarmiger sein.

Die auf einen Hebel einwirkenden Kräfte müssen, um vollständige Verwendung für die Bewegung zu finden, mit ihrer Richtung senkrecht gegen den Hebelarm gestellt sein, denn eine jede Kraft kann nur dann ihre ganze Wirkung unbeeinträchtigt in die Erscheinung treten lassen, wenn sie in einer Richtung wirkt, in welcher der von ihr angegriffene Punkt auch wirklich bewegt werden kann. Der Angriffspunkt an einem Hebel kann aber nach der Definition des Hebels nur eine Drehbewegung in der Drehebene ausführen; eine Kraft, welche ihn ohne Störung ihrer Integrität soll bewegen können, muss demnach die tangentiale Richtung zu dem Kreise besitzen, welchen der Angriffspunkt in seiner Drehung beschreibt, d. h. sie muss eine senkrechte Richtung zu dem Halbmesser dieses Kreises haben, und dieser Halbmesser ist eben der Hebelarm.

An einer jeden der angegebenen Arten des Hebels findet Ruhe, d. h. Gleichgewicht zwischen den an demselben wirkenden Kräften dann statt, wenn die Kräfte sich verhalten wie umgekehrt die Hebelarme, an welchen sie wirken; in den drei Hebeln (Fig. 2, 3, 4) findet demnach Gleichgewicht statt, wenn

$$A : B = b : a.$$

Diese Formel kann auch in der folgenden Gestalt geschrieben werden:

$$A \,.\, a = B \,.\, b.$$

Die letztere Formel in Worten ausgedrückt lautet: Gleichgewicht ist in dem Hebel, wenn die Produkte einer jeden Kraft mit ihrem Hebelarm einander gleich sind; und da dieses Produkt mit dem Namen »Kraftmoment« belegt wird, so drückt man sich kürzer dahin aus, dass man

als Bedingung für das Gleichgewicht am Hebel die Gleichheit der beiden Kraftmomente hinstellt.

In den in den bezeichneten Figuren dargestellten Beispielen ist der Hebelarm $a = 2$ und der Hebelarm $b = 3$; nach dem eben Gesagten findet also an diesen Hebeln Gleichgewicht statt, wenn die Kraft $A = 3$ und die Kraft $B = 2$ ist.

In der bisherigen Darstellung ist der Hebel und beziehungsweise die Hebelarme nur als eine Linie und zwar als eine unkörperliche (mathematische) Linie hingestellt. — Die in wirkliche Anwendung kommenden Hebel sind aber körperliche Gegenstände, Stangen, Balken etc. von verschiedenster Gestalt. Es ist ausdrücklich darauf aufmerksam zu machen, dass dieser Umstand bei Beurtheilung von Hebelverhältnissen nur insofern in Rücksicht zu ziehen ist, als ein solcher körperlicher Hebel eine gewisse Schwere besitzt, welche als mitwirkende Kraft mit in Rechnung zu bringen ist. Die Gestalt, welche ein körperlicher Hebel oder Hebelarm besitzt, ist vollständig gleichgültig für seine Wirkung, denn als Hebelarm für die Berechnung des Hebels hat immer nur die gerade Linie zu gelten, welche von dem Angriffspunkte der Kraft zu dem Stützpunkte gezogen wird, und diese Linie wird deshalb auch als »mathematischer Hebelarm« benannt und der ganze in einen körperlichen Hebel nach dieser Methode eingezeichnete, durch mathematische Linien gebildete Hebel als »mathematischer Hebel«.

Der in dem Obigen gestellten Bedingung für möglichst günstige Einwirkung einer Kraft auf ihren Hebelarm, nach welcher die Kraft in senkrechter Richtung zu letzterem wirken muss, wird in einem konkreten Falle nicht immer entsprochen. Es kommt sogar sehr gewöhnlich vor, dass die Richtung der Kraft zu ihrem Hebelarme eine schiefe ist, so dass sie mit dem Hebelarme einen spitzen oder einen stumpfen Winkel bildet. (Als Winkel zwischen Hebelarm und Kraftrichtung ist hier und in dem Folgenden derjenige der beiden durch das Zusammentreffen dieser beiden Linien gebildeten Winkel zu verstehen, welcher dem Stützpunkte näher liegt.) Ist dieses der Fall, dann kommt nur ein Theil der Kraft für die Drehbewegung in Wirkung, der andere Theil derselben geht in der Richtung des Hebelarms verloren. Die Beurtheilung über das gegenseitige Verhältniss dieser beiden Theile einer solchen schief wirkenden Kraft ist mit Hülfe des Parallelogrammes der Kräfte leicht gewonnen.

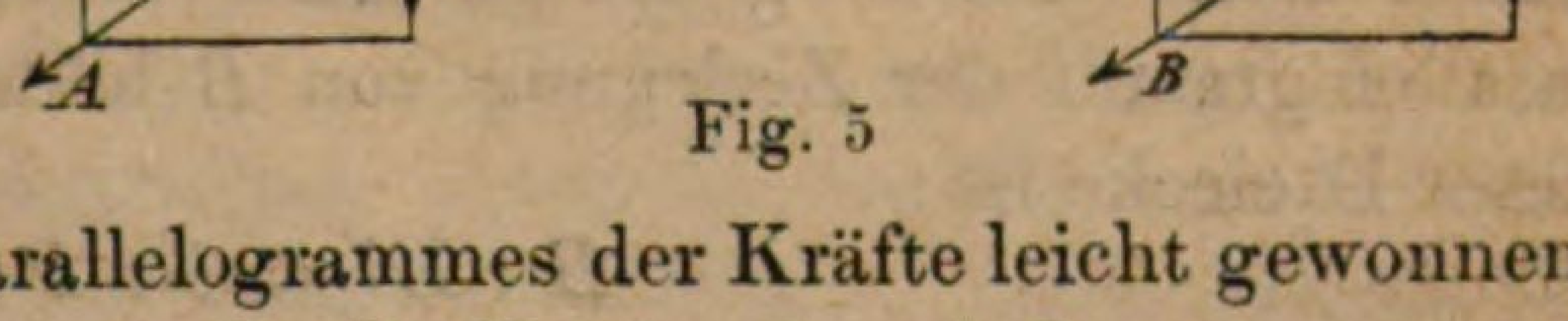


Fig. 5

An dem Hebel (Fig. 5) wirken z. B. die Kräfte A und B, erstere unter

stumpfem, letztere unter spitzem Winkel. Man sehe nun beide Kräfte als Resultirende von je zwei Kräften an, von welchen die eine in der Richtung des Hebelarmes wirkt (A'' und B'') und die andere (A' und B') senkrecht zu dem Hebelarm. Durch Konstruktion der entsprechenden Parallelogramme kann dann leicht die gegenseitige Grösse dieser Komponenten und ihr Verhältniss zu der schief wirkenden Kraft dargestellt, beziehungsweise berechnet werden. Die Kräfte A' und B' sind dann diejenigen, deren Produkt mit der Grösse der anliegenden Hebelarme die Kraftmomente bezeichnet und damit den sogenannten »mechanischen Effekt« der beiden schief wirkenden Kräfte bestimmt. — Die beiden anderen Komponenten (A'' und B''), da sie in der Richtung der Hebelarme selbst wirken, gehen für die Drehbewegung verloren, wirken dagegen auf den Stützpunkt ein und würden denselben verschieben, wenn er beweglich wäre; bei der unter einem spitzen Winkel angreifenden Kraft B wirkt nämlich die Komponente B'' als Druck gegen den Stützpunkt hin, und bei der unter einem stumpfen Winkel angreifenden Kraft A wirkt die Komponente A'' als Zug von dem Stützpunkte weg.

Nach dem so eben Entwickelten ist demnach das an dem Hebel (Fig. 5) wirkende Kraftmoment auf der einen Seite

$$A' \, . \, a$$

und auf der anderen Seite

$$B' \, . \, b.$$

Für Berechnung dieser Kraftmomente müsste man also zuerst nach den Gesetzen des Parallelogrammes der Kräfte die Grösse von A' und von B' berechnen. Da dieses aber etwas umständlich ist, zieht man gern einen kürzeren Weg vor, welcher in folgender Weise geboten wird (s. Fig. 6): Man zieht aus dem Stützpunkte auf die verlängerte Richtung der Kraft B eine Senkrechte P, und gewinnt damit ein rechtwinkeliges Dreieck, welches ähnlich ist den beiden unter sich kongruenten rechtwinkeligen Dreiecken, welche das Parallelogramm der Zerlegung von B bilden. Wegen der Aehnlichkeit dieser Dreiecke ist:

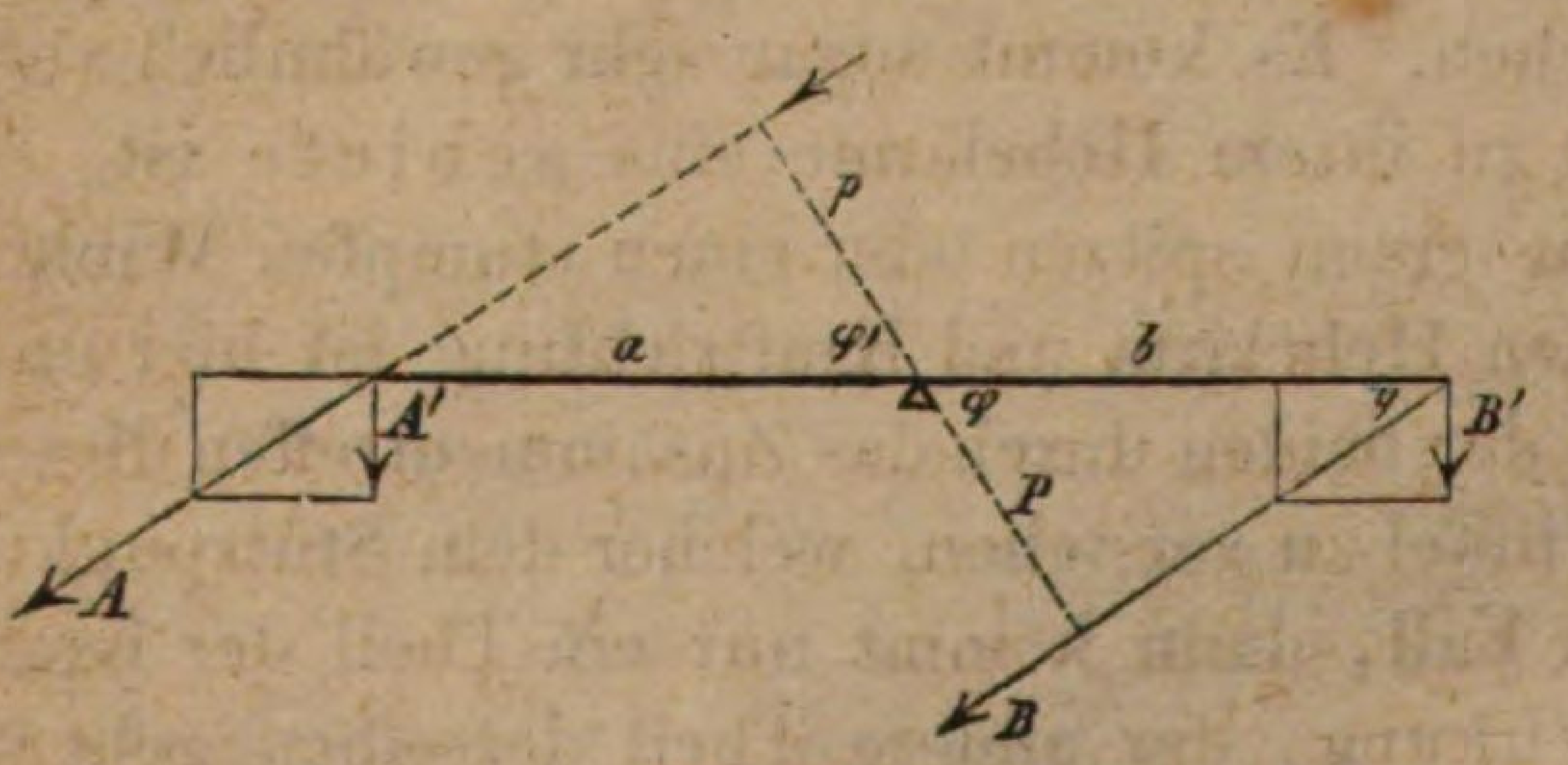


Fig. 6.

$$B : B' = b : P$$

oder

$$B' . b = B . P.$$

Das Produkt aus der unzerlegten Kraft B und der Senkrechten P aus dem Stützpunkte auf die Richtung derselben ist daher dem oben gewonnenen Kraftmomente $B'.b$ gleich und kann statt desselben gesetzt werden.

In gleicher Weise findet man auch für die stumpfwinkelig angreifende Kraft A durch Verlängerung ihrer Richtung nach oben und durch Fällung der Senkrechten p denselben Satz, dass nämlich:

$$A'.a = A.p.$$

Der eben gewonnene zweite Ausdruck für das Kraftmoment einer schief einwirkenden Kraft gewährt für die Anwendung eine solche Bequemlichkeit, dass er in den Berechnungen und Kraftbestimmungen allgemein angewendet wird. Daher pflegt denn auch die Mechanik in ihren Entwickelungen von dem eigentlichen (mathematischen) Hebelarm ganz abzusehen und jene Senkrechte geradezu als »den Hebelarm« zu bezeichnen. In den späteren Untersuchungen werden wir indessen nicht vermeiden können, den mathematischen Hebelarm als solchen auch zu berücksichtigen, und wir sind daher genöthigt, zur Vermeidung von Verwechselungen den durch jene Senkrechte gegebenen Hebelarm besonders zu benennen, und wählen dafür den Ausdruck: »theoretischer Hebelarm«.

Wir haben danach folgende drei Arten von »Hebelarmen« oder vielmehr Auffassungen des Hebelarmes zu unterscheiden:

- körperlicher Hebelarm, derjenige körperliche Gegenstand, in oder an welchem sich Stützpunkt und Angriffspunkt der Kraft befindet,
- mathematischer Hebelarm, die gerade Linie, welche den Stützpunkt und den Angriffspunkt der Kraft verbindet,
- theoretischer Hebelarm, die Senkrechte aus dem Stützpunkte auf die Richtung der Kraft.

Für gewisse Fälle ist es von Interesse, auch noch einen Ausdruck für das Kraftmoment einer schiefwirkenden Kraft zu brauchen, welcher direkt von der Grösse des Angriffswinkels hergeleitet ist. Einen solchen Ausdruck findet man auf folgende Weise (s. Fig. 6): In dem durch Einzeichnen des theoretischen Hebelarmes gewonnenen rechtwinkeligen Dreiecke bezeichne man die beiden der Hypotenuse (dem mathematischen Hebelarm) anliegenden Winkel, und zwar mit φ denjenigen, welcher seine Spitze in dem Stützpunkte hat, und mit η denjenigen, dessen Spitze sich in dem Angriffspunkte der Kraft befindet. Für die unter spitzem Winkel angreifende Kraft B ist dieser Winkel η der Angriffswinkel selbst, — für die unter stumpfem Winkel angreifende Kraft ist es dagegen der den Angriffswinkel zu 180^0 ergänzende spitze Winkel η'. Nach bekannter trigonometrischer Formel ist nun aber

$$P = b \,.\, \sin \eta$$
$$P = b \,.\, \cos \varphi.$$

Beide Werthe kann man in den Ausdruck BP für das Kraftmoment statt P einsetzen und bekommt dadurch die beiden Ausdrücke:

$$B \,.\, b \,.\, \sin \eta$$

und $$B \,.\, b \,.\, \cos \varphi.$$

In gleicher Weise gewinnt man für die Kraft A die beiden Ausdrücke

$$A \,.\, a \,.\, \sin \eta'$$
$$A \,.\, a \,.\, \cos \varphi'.$$

Für Bezeichnung der Grösse des Kraftmomentes einer schief einwirkenden Kraft hat man also vier Ausdrücke, von welchen man je nach der Opportunität den einen oder den anderen verwenden kann.

Für die unter spitzem Winkel einwirkende Kraft B sind diese Ausdrücke:

$$B' \,.\, b = B \,.\, P = B \,.\, b \,.\, \sin \eta = B \,.\, b \,.\, \cos \varphi$$

und für die unter stumpfem Winkel einwirkende Kraft A

$$A' \,.\, a = A \,.\, p = A \,.\, a \,.\, \sin \eta' = A \,.\, a \,.\, \cos \varphi'.$$

Jeder zweiarmige Hebel übt im Ruhezustand einen Druck auf seinen Stützpunkt aus, dessen Berücksichtigung gelegentlich von Wichtigkeit werden kann.

Bei unter einander parallel wirkenden Kräften ist dieser Druck leicht zu bestimmen; denn aus den Gesetzen über die Zusammenlegung paralleler Kräfte geht hervor, dass er in seiner Grösse gleich sein muss der arithmetischen Summe der beiden an dem Hebel wirkenden Kräfte, — und dass er, was seine Richtung angeht, dieselbe Richtung haben muss, wie die ihn zusammensetzenden Kräfte.

Sind die Kräfte nicht unter sich parallel, aber doch in derselben Ebene gelegen, so lässt sich Grösse und Richtung des Druckes auf den Stützpunkt durch verschiedene Methoden bestimmen, indessen sei hier nur die einfachste Methode, welche den Weg der Konstruktion benutzt, angegeben (vgl. Fig. 7 und 8): Man verlängert nämlich die Richtungen der Kräfte, bis sie sich durchschneiden, und zieht dann eine Linie von dem Durchschneidungspunkte durch den Stützpunkt des Hebels. Die so gewonnene Linie ist die Resultirende beider Kräfte und bezeichnet durch ihre Grösse und Richtung zugleich die Grösse und Richtung des Druckes auf den Stützpunkt. In Bezug auf die Grösse des Druckes, wenn dieselbe dem Längenmasse der bezeichneten Linie direkt entnommen werden soll, muss darauf aufmerksam gemacht werden, dass die Linie von dem Durchschnittspunkte der Kräfte bis zu dem Stützpunkte nur dann das richtige Mass abgibt, wenn sie in das richtige Verhältniss zu den Einzelnkräften gesetzt wird, und dieses geschieht, indem man um

sie als Diagonale mit Hülfe der fortgesetzten Richtungen der einzelnen Kräfte ein Parallelogramm konstruirt; die Abschnitte der einzelnen Kraftrichtungen geben dann das Grössenverhältniss der Kräfte unter sich und

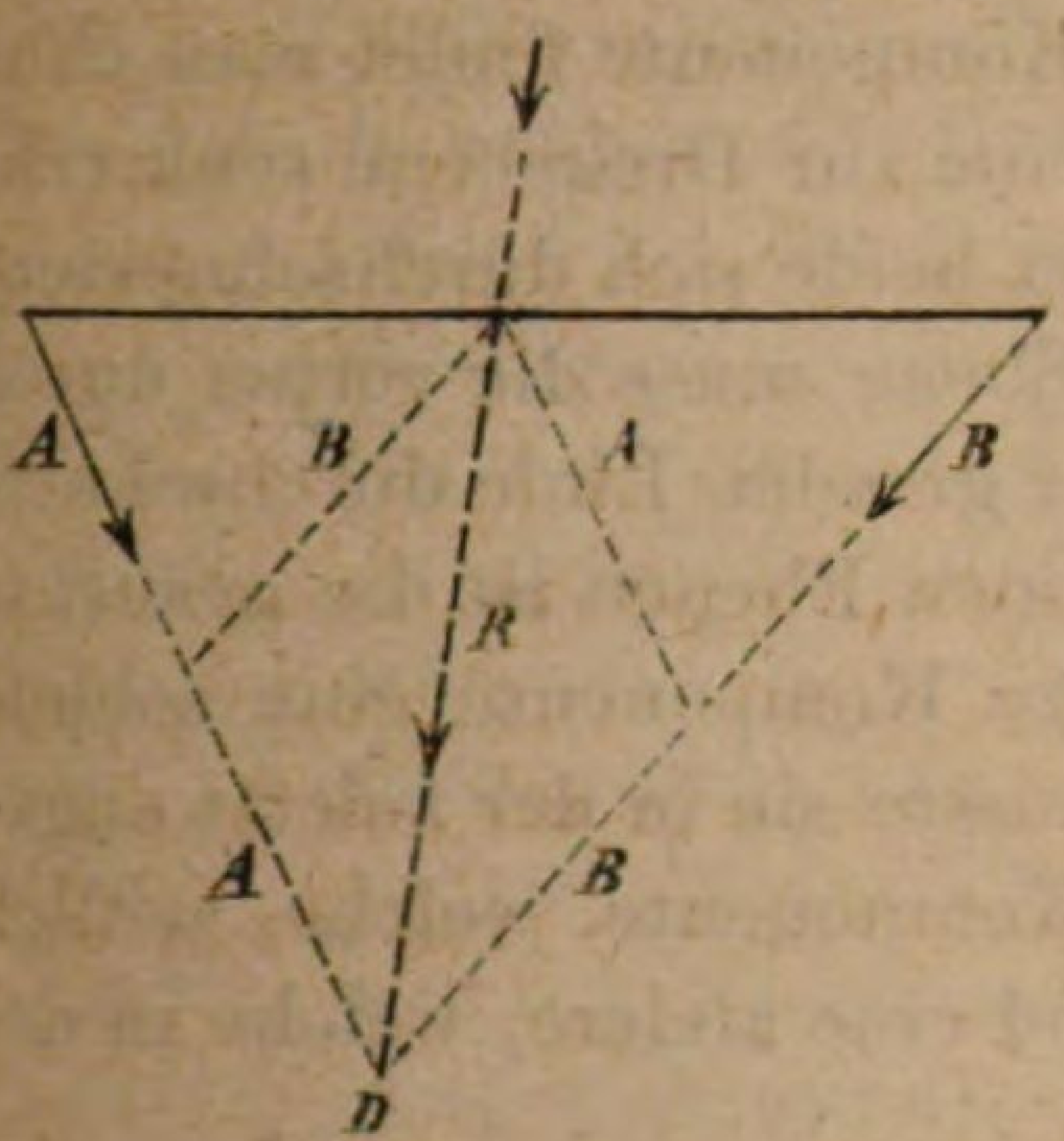


Fig. 7.

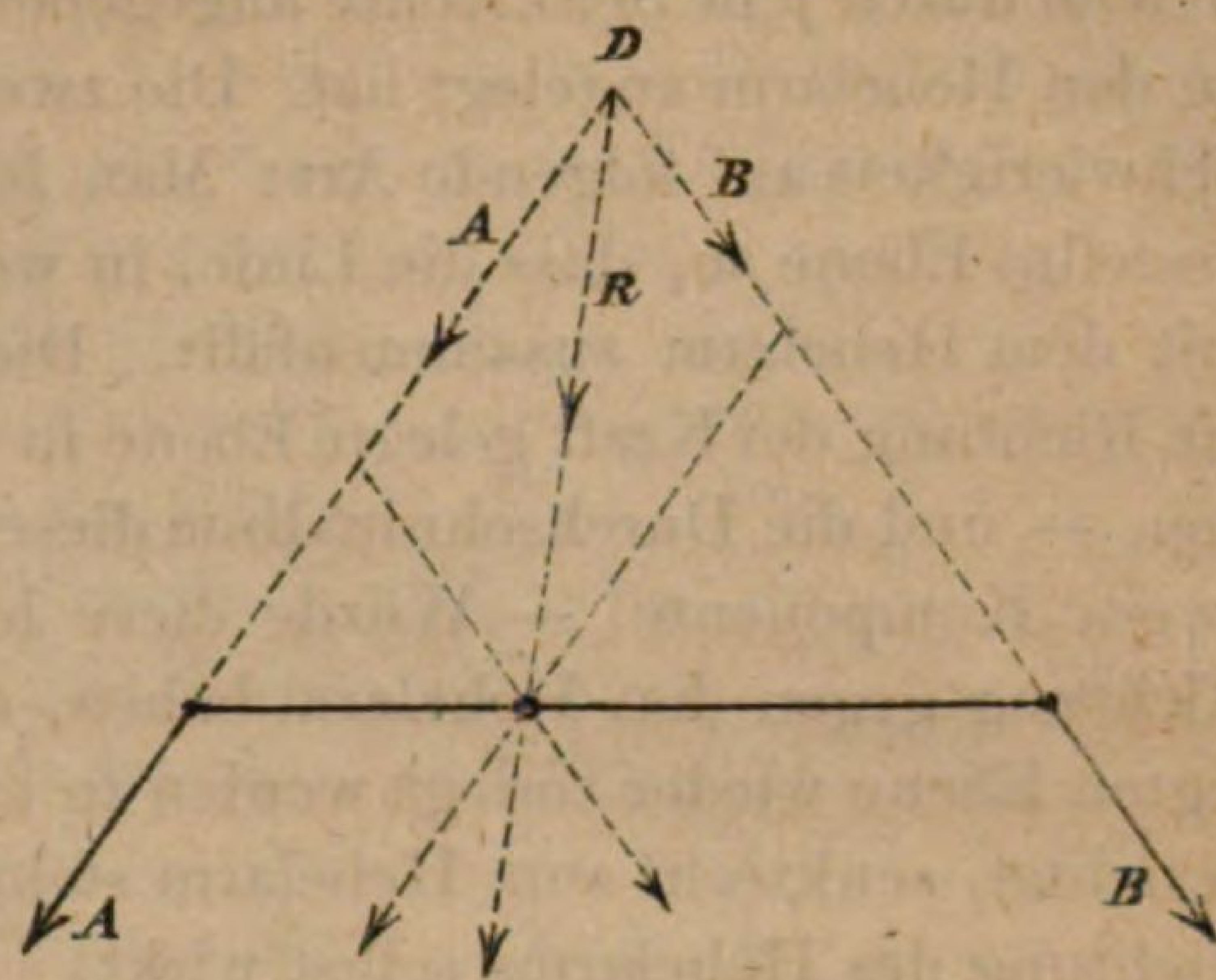


Fig. 8.

gegen die Resultirende (den Druck auf den Stützpunkt) an. Statt weiterer Beweise für die Richtigkeit des auf diesem Wege gefundenen, genügt es, darauf aufmerksam zu machen, dass die Resultirende der beiden Kräfte, welche ihre gemeinsame Wirkung ausdrückt, somit also auch ihre gemeinsame Einwirkung auf den Stützpunkt, nothwendig durch den Stützpunkt selbst gehen muss; denn würde sie neben dem Stützpunkte vorbeigehen, so würde sie einen Hebelarm treffen und dadurch eine Drehung veranlassen, ein Verhältniss, welches mit dem Begriffe des Gleichgewichtes nicht verträglich ist.

In allen bisher entwickelten Gesetzen über die Statik des Hebels wurde stets daran festgehalten, dass die auf den Hebel einwirkenden Kräfte als in der Ebene (Drehebene) gelegen gedacht waren, in welcher allein der Hebel sich zu drehen vermag. — Es ist übrigens nicht zu verkennen, dass möglicher Weise auf einen bestimmten Punkt eines Hebels auch einmal eine Kraft einwirken kann, deren Richtung nicht in der Drehebene liegt. In einem solchen Falle muss man die Bestimmung desjenigen Theiles der Kraft, welcher an dem Hebel thatsächlich in Wirkung tritt, vornehmen.

Für diesen Zweck legt man in der Drehebene eine zu dem Hebelarm senkrechte Linie in dem Angriffspunkte der Kraft an; und legt dann eine

Fig. 7 u. 8. — Konstruktion des Axendruckes an dem zweiarmigen Hebel bei schiefwirkenden Kräften. — *A* und *B* die Kräfte, in Fig. 7 konvergent, in Fig. 8 divergent. — *D* der Durchschnittspunkt der verlängerten Richtung beider Kräfte. — *R* die Richtung des Axendruckes, dessen Grössenverhältniss zu den einzelnen Kräften durch das eingezeichnete Parallelogramm angegeben wird.

Ebene durch diese Senkrechte und durch die Richtung der Kraft. In dieser Ebene zerlegt man dann die Kraft in zwei Komponenten, von welchen die eine die an dem Hebel wirksame ist; es ist das diejenige, welche durch jene Senkrechte angegeben wird, die man in der Drehebene an den Hebelarm angelegt hat. Die zweite Komponente findet man ohne Schwierigkeit auf folgende Art: Man legt eine zur Drehebene senkrecht gestellte Ebene so, dass die Linie, in welcher beide sich durchschneiden, mit dem Hebelarm zusammenfällt. Diese Ebene muss die vorher durch die Richtung der Kraft gelegte Ebene in einer geraden Linie durchschneiden, — und die Durchschnittslinie dieser beiden Ebenen ist die gesuchte zweite Komponente. — Würde diese letztere Komponente eine schiefe Richtung gegen den Hebelarm haben, so müsste sie in der zuletzt angelegten Ebene wieder zerlegt werden in eine Komponente, welche, seitlich gerichtet, senkrecht zum Hebelarm steht, und eine andere, welche in der Richtung des Hebelarms selbst wirkt.

Man hat auf diese Weise die fragliche Kraft in drei senkrecht gegen einander gestellte Komponenten zerlegt, welche sich in dem Angriffspunkte des Hebelarmes treffen. Die eine dieser Komponenten, welche die für die Drehung wirksame ist, liegt in der Drehebene senkrecht zum Hebelarm, — die zweite, welche als Druck oder Zug auf den Stützpunkt wirkt, liegt in dem Hebelarme selbst, — und die dritte, welche unwirksam verloren geht, steht in dem Angriffspunkte senkrecht zur Drehebene.

Etwas einfacher kann man diese Zerlegung dadurch vornehmen, dass man zuerst die letzte (unwirksame) Komponente ausscheidet. — Für diesen Zweck legt man durch die Richtung der Kraft eine Ebene, welche senkrecht auf der Drehebene steht, und zerlegt in dieser Ebene die Kraft in zwei Komponenten. Die eine derselben stellt man senkrecht auf den Hebelarm; diese ist die unwirksam bleibende Komponente; — die andere ist angegeben durch die Durchschnittslinie der durch die Kraft gelegten Ebene mit der Drehebene; diese wirkt auf den Hebelarm und, wenn sie in schiefer Richtung auf denselben trifft, so kann man sie wieder nach früher besprochenen Gesetzen zerlegen in eine drehende und eine auf den Stützpunkt in der Richtung des Hebelarmes wirkende Komponente.

In Bezug auf die Richtung der Kräfte ist noch besonders darauf aufmerksam zu machen, dass Alles, was bisher über dieselbe und über ihren Einfluss gesagt worden ist, nur Bezug hat auf den ruhenden Gleichgewichtszustand des Hebels oder auf den Augenblick des Anfanges einer Bewegung. Mit der Fortsetzung der Bewegung können sich in-

dessen für denselben Hebel die Verhältnisse oft sehr wesentlich anders gestalten.

Zwei Grundverhältnisse sind hier möglich:

entweder nämlich (vgl. Fig. 9) bleibt bei fortschreitender Drehbewegung die Richtung der Kraft zu dem Hebelarm immer dieselbe. Dann muss ihre absolute Lage im Raume sich beständig ändern. Für die senkrecht auf den Hebelarm wirkende Kraft wird es z. B. in dieser Beziehung festzuhalten sein, dass ihre Richtung stets eine Tangente desjenigen Kreises sein muss, welchen ihr Angriffspunkt um den Stützpunkt als Mittelpunkt beschreibt. Welcher Punkt der Kreisperipherie in einem gegebenen Zeitpunkte der Bewegung massgebend für die in diesem Zeitpunkte geltende tangentiale Richtung ist, ist leicht einzusehen; — es ist derjenige, in welchem sich gerade in diesem Zeitpunkte der Angriffspunkt der Kraft befindet;

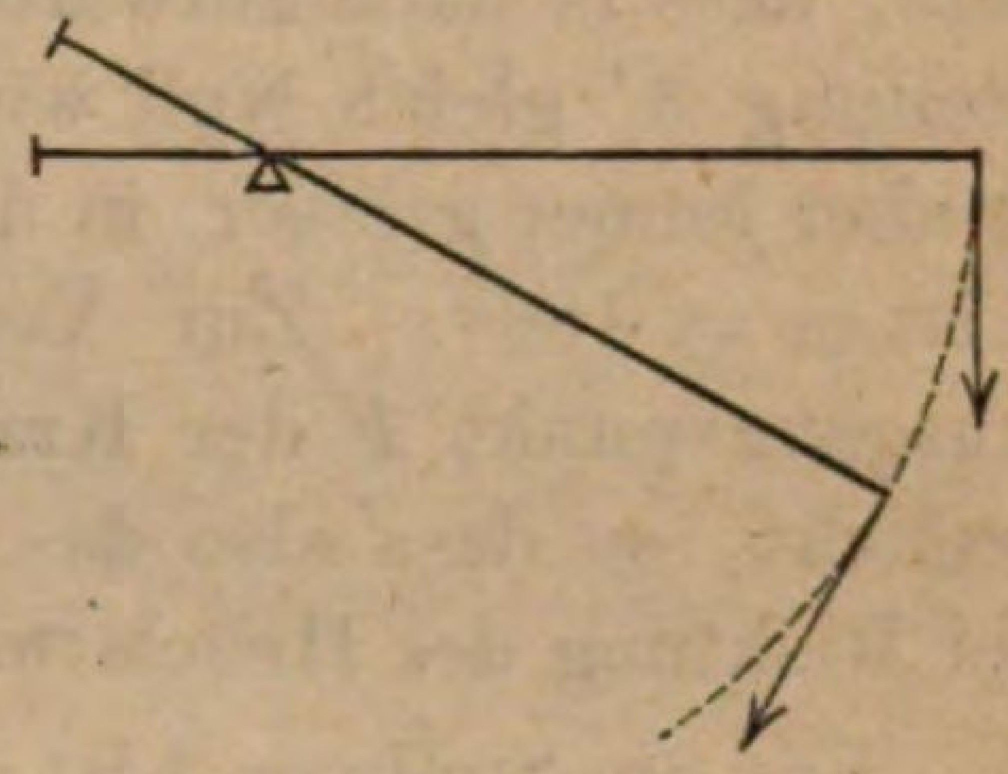


Fig. 9.

oder die Richtung der Kraft ist insofern unveränderlich, dass sie einen bleibenden festen Ausgangspunkt besitzt. In Fig. 10 ist ein solches Verhältniss dadurch angedeutet, dass in derselben als bewegende Kraft ein Gewicht gedacht ist, welches an einem um eine Rolle geschlagenen Strick durch seine Schwere einen Zug ausübt. Die Beziehung der Kraftrichtung zu dem Hebelarm muss sich dabei nothwendig beständig ändern.

Dieses letztere Verhältniss fordert wegen seiner Wichtigkeit noch eine genauere Untersuchung, weil sich nämlich mit der Veränderung der Richtung nothwendiger Weise auch immer nicht nur das Kraftmoment, sondern auch die Einwirkung der Kraft auf den Stützpunkt ändert.

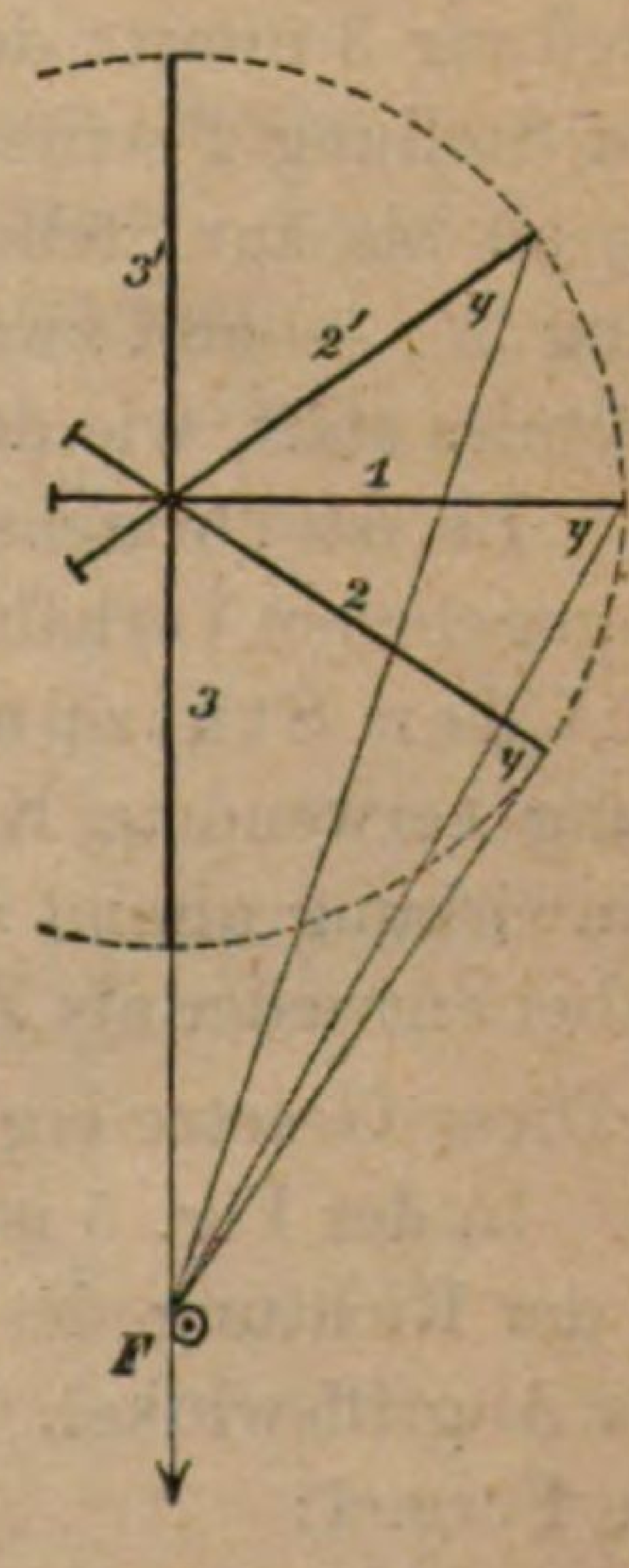


Fig. 10.

In welcher Weise sich das K r a f t m o m e n t ändert, ist unschwer zu erkennen. Bei früherer Gelegenheit haben wir gefunden, dass das Kraft-

moment mit Hülfe des Angriffswinkels bestimmt werden kann und zwar nach der Formel (vgl. Fig. 6)

$$B \cdot b \cdot \sin \eta.$$

Ein Blick auf Fig. 10 zeigt nun sogleich, dass der Winkel η mit der veränderten Stellung sich ebenfalls beträchtlich verändert. Geht man von der Stellung 1, in welcher der Hebelarm horizontal liegt, aus, so sieht man, dass er nach aufwärts von dieser immer kleiner wird, bis er in der Stellung 3′ gleich Null wird; — von der Stellung 1 nach abwärts wird er aber immer grösser, in der Stellung 2 ist er $= 90^0$ und in der Stellung 3 ist er $= 180^0$. (Zur Vermeidung von Komplikationen ist der feste Ausgangspunkt F der Kraftrichtung senkrecht unter dem Stützpunkte gedacht, so dass also das Zusammenfallen der Richtung der Kraft mit der Richtung des Hebelarmes gerade in die Senkrechte fällt.)

Für die Stellung 2 ist also das Kraftmoment

$$= B \cdot b \cdot \sin 90^0$$
$$= B \cdot b \cdot 1$$
$$= B \cdot b$$

für die Stellungen 3′ und 3 ist dagegen,

$$\text{da } \sin 0^0 = 0 \text{ und } \sin 180^0 = 0$$

das Kraftmoment

$$= B \cdot b \cdot 0$$
$$= 0.$$

Bei einer Bewegung des Hebelarmes aus der Stellung 3′ in die Stellung 3 nimmt demnach das Kraftmoment allmälig zu, erreicht bei der Stellung 2 seine grösste Höhe und nimmt von da an wieder allmälig ab bis zur Stellung 3, wo es wieder gleich Null ist, wie in der Stellung 3′; — und zwar findet die Zunahme und die Abnahme in dem Verhältniss statt, wie der Sinus des Angriffswinkels zu- und abnimmt.

Es ist übrigens nicht allein das Kraftmoment, welches durch die angegebenen Verhältnisse geändert wird, sondern auch die Einwirkung auf den Stützpunkt, welche durch die zweite nicht zur Drehbewegung verwendete Komponente der Kraft ausgeübt wird. Auch diese Einwirkung nimmt nach bestimmten Gesetzen zu und ab und erscheint dabei entweder als Zug oder als Druck auf den Stützpunkt.

Diese Gesetze ergeben sich leicht aus dem Folgenden:

In der Fig. 5 ist die Komponente B'' der Kraft B diejenige, welche in der Richtung des Hebelarms auf den Stützpunkt einwirkt, und η ist der Angriffswinkel. Für das gegenseitige Verhältniss dieser Grössen gilt die Formel:

$$B'' : B = \cos \eta : 1$$

also

$$B'' = B \cdot \cos \eta.$$

In der Stellung 3′ (Fig. 10) ist $\eta = 0$, demnach ist $\cos \eta = 1$ und der Druck auf den Stützpunkt

$$B \,.\, \cos \eta = B \,.\, 1 = B.$$

In der Stellung 2 derselben Figur ist $\eta = 90^0$, demnach ist $\cos \eta = 0$ und der Druck auf den Stützpunkt

$$B \,.\, \cos \eta = B \,.\, 0 = 0.$$

In der Stellung 3 dagegen ist $\eta = 180^0$, demnach ist $\cos \eta = -1$ und der Druck auf den Stützpunkt

$$B \,.\, \cos \eta = B \,.\, -1 = -B$$

d. h. in den Stellungen 3′ und 3, in welchen das Kraftmoment, wie vorher gezeigt $= 0$ ist, ist der Druck auf den Stützpunkt in seinem Maximum, er wird nämlich durch die volle Kraft bewirkt; für die Stellung 3′ ist er aber positiv, also Druck, für die Stellung 3 dagegen negativ, also Zug. — Die Grenze zwischen der Einwirkung als Druck und der Einwirkung als Zug ist in der Stellung 2, wo das Kraftmoment in seinem Maximum ist und die Einwirkung auf den Stützpunkt $= 0$.

Geht man von der Stellung 3′ in die Stellung 3 über, so findet man, dass der Druck auf den Stützpunkt mit der vollen Kraft beginnend allmälig kleiner wird, bis er in der Stellung 2 ($\eta = 90^0$) Null wird, und dann in Zug umgeschlagen wieder grösser wird, bis er in der Stellung 3 Zug mit der vollen Kraft geworden ist. — Diese Abnahme und Zunahme geschieht im Verhältniss des Cosinus des Angriffswinkels.

Anmerkung. Diese Sätze finden unmittelbare Anwendung auf die Veränderung der Wirkung eines Muskels, vgl. Lehrbuch der Anatomie III. Aufl. S. 171.

Mit dem soeben besprochenen Verhältnisse ist auf das Engste der Fall verwandt, in welchem die auf den Hebel einwirkende Kraft dieselbe absolute Richtung stets beibehält, wenn sie auch, der Bewegung des Hebelarmes folgend, ihre Lage im Raume beständig ändert. Typisch für dieses Verhältniss ist die Schwere, welche jederzeit in der Senkrechten abwärts wirkt. Die Beziehungen des Kraftmomentes und der Einwirkung auf den Stützpunkt sind hier vollständig dieselben, wie in dem vorher besprochenen Falle des feststehenden Ausgangspunktes der Kraftrichtung. Es ist dabei nur die Verschiedenheit, dass die Lage des Hebelarmes für das Maximum des Kraftmomentes und das Minimum der Einwirkung auf den Stützpunkt die horizontale ist. Die parallele Richtung der Schwerewirkung für alle Lagen des Hebelarmes gewährt übrigens zugleich den Vortheil (vgl. Fig. 11), dass man das

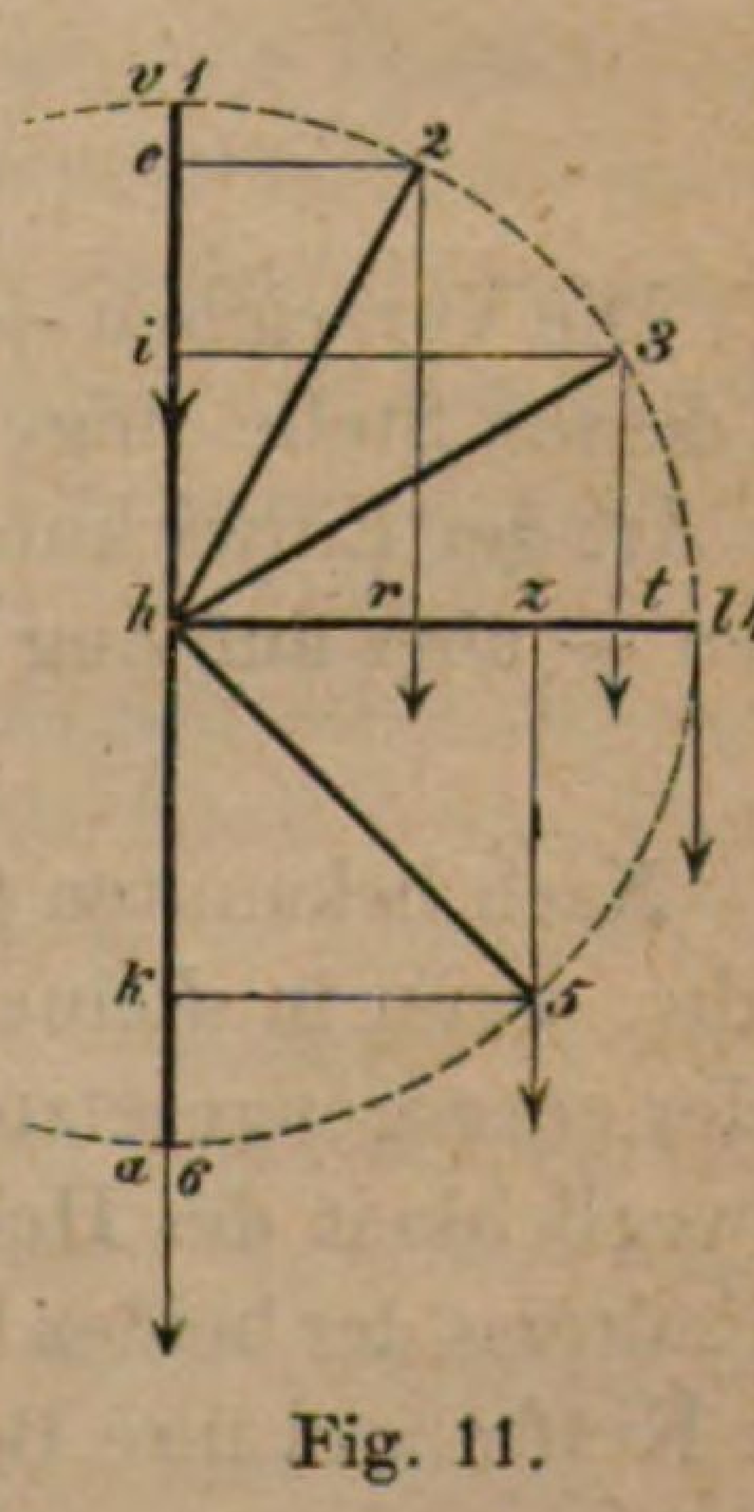


Fig. 11.

Zu- und Abnehmen des Kraftmomentes auf leichte Weise graphisch dargestellt überblicken kann. Auf der Horizontalen hl bezeichnen nämlich die Durchschnittspunkte mit den vertikalen Richtungen der Schwere die theoretischen Hebelarme der letzteren, so dass sich ihre gegenseitige Grösse leicht überblicken lässt. Nennt man die stets gleich bleibende Schwere S, so ist in Fig. 11 das mit Hülfe des theoretischen Hebelarmes ausgesprochene Kraftmoment ($B.\ P$ beziehungsweise $A.\ p$ in Fig. 6) für die

Stellung 1 $= 0\ .\ S$
- 2 $= hr\ .\ S$
- 3 $= ht\ .\ S$
- 4 $= hl\ .\ S = 1\ S$
- 5 $= hz\ .\ S$
- 6 $= 0\ .\ S.$

In gleicher Weise lässt sich an derselben Fig. 11 die Veränderung der Einwirkung auf den Stützpunkt graphisch dargestellt überblicken. Diese Einwirkung ist nämlich nach dem in Früherem Gezeigten gleich dem Produkt aus der ungetheilten Kraft mit dem Cosinus des Angriffswinkels. Die durch horizontale Projektionen der einzelnen Stellungen des Angriffspunktes gewonnenen Abschnitte der vertikalen Halbmesser vh und ha stehen nun aber gegenseitig in dem Verhältniss der betreffenden Cosinus und können demnach für den gegenseitigen Vergleich der Grössen statt dieser gesetzt werden. Danach ist also die Einwirkung auf den Stützpunkt für die

Stellung 1 $= + vh\ .\ S$
- 2 $= + eh\ .\ S$
- 3 $= + ih\ .\ S$
- 4 $= 0\ .\ S$
- 5 $= - hk\ .\ S$
- 6 $= - ha\ .\ S.$

Die Vorzeichen + und —, bedingt durch den Charakter des Cosinus, an dessen Stelle obige absolute Werthe gesetzt sind, deuten zugleich auf die Art der Einwirkung hin, indem das Zeichen + auf Druck, das Zeichen — aber auf Zug hinweist.

Nach bekannten Gesetzen ist an den beiden Hebeln Fig. 12 und 13. Ruhe, wenn in d eine Kraft gleich 3 und in e eine Kraft gleich 2 in einander entgegengesetzter Richtung wirken. Die Ruhe ist bei vollständiger Beweglichkeit des Hebels nur bedingt durch das gegenseitige Grössenverhältniss der beiden Kräfte. — Man kann die gegenseitigen Beziehungen der Kräfte und ihre Beziehungen zu der Ruhe in dem Hebel auch in der

Weise auffassen, dass man sagt: die in e wirkende Kraft $B = 2$ würde eine Drehung des Hebels veranlassen, wenn nicht in d eine Kraft $= 3$ durch Drehung in entgegengesetzter Richtung der durch B gegebenen Drehung eine Hemmung entgegenstellen würde.

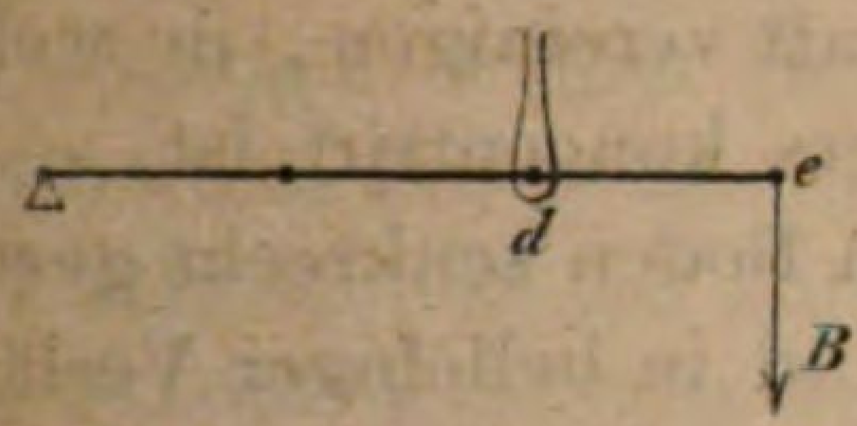


Fig. 12.

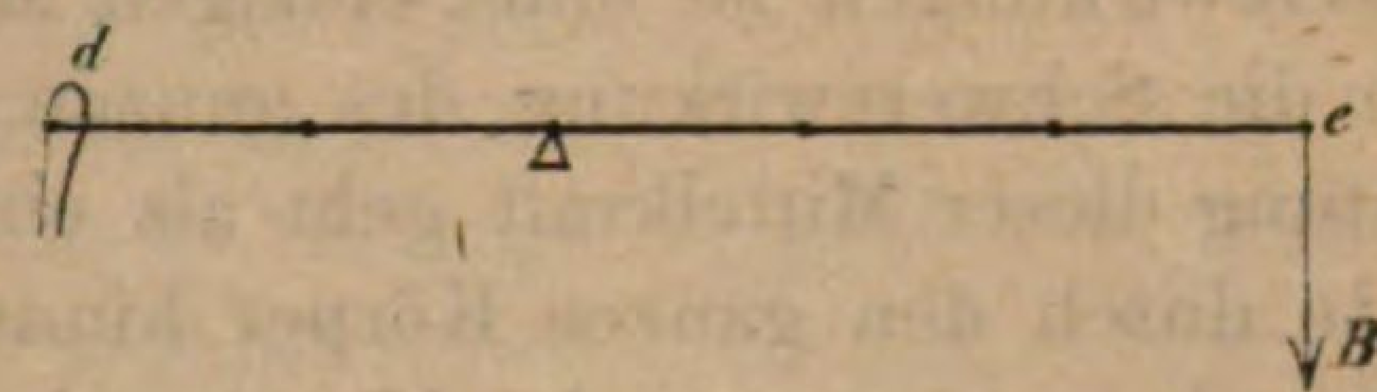


Fig. 13.

Nach dieser Auffassung ist die Ruhe in dem Hebel dadurch gegeben, dass die Wirkung der einen Kraft durch diejenige der anderen Kraft gehindert wird, als Bewegung in die Erscheinung zu treten; — und die Ruhe wird in gleicher Weise in dem Hebel vorhanden sein, wenn in d irgend eine andere Widerstandskraft von dem gleichen Werthe angebracht ist. Lässt man z. B., wie in Fig. 12 und 13 angedeutet, an dem Punkte d eine Fadenschlinge mit der Widerstandsfähigkeit 3 angebracht sein, so wird durch diese ebenfalls die Ruhe erhalten bleiben. — Würde diese Schlinge genau die Widerstandsfähigkeit 3 besitzen, so würde deren Widerstand bei einer Vermehrung der Kraft B überwunden werden; eine Verminderung der Kraft B würde aber die Ruhe an dem Hebel nicht stören, weil die Schlinge keine aktive Kraft ist, sondern nur eine passive. — Würde dagegen die Widerstandsfähigkeit eine grössere sein, etwa $= 6$, so würde ohne Störung der Ruhe in dem Hebel die Kraft B bis zu dem Werthe 4 vermehrt werden können, weil der Wirkung ihres Kraftmomentes immer noch der genügende Widerstand entgegengestellt wäre.

In dem Kraftmoment sind aber die beiden Elemente enthalten: die Grösse der Kraft und die Länge des Hebelarmes, und eine Veränderung in dem Werthe des Kraftmomentes kann durch entsprechende Veränderungen sowohl des einen als des anderen Elementes herbeigeführt werden, also ebenso gut durch Vermehrung oder Verminderung der Kraft, wie durch Verschiebung der gleichen Kraft auf dem Hebelarm in grössere oder geringere Entfernung von dem Stützpunkte.

Bei einem Hebel, an dessen einem Ende eine nach Entfernung vom Stützpunkte und nach Grösse nicht bestimmt normirte Kraft wirkt, kann daher für alle Fälle Ruhe gesichert werden, wenn dieser Kraft ein für alle Fälle genügender Widerstand als Gegenkraft gegenübergestellt wird.

Da hierbei der Hebel für einen gewissen Umfang von Kraftmomenten, welche an dem einen Ende desselben wirken können, durchaus ruhig und festgestellt ist, so kann man einen in solcher Weise ausgestatteten Hebel als »festgestellten oder fixirten Hebel« bezeichnen.

4. Der Schwerpunkt.

Nach dem Gesetze über die Vereinigung parallel wirkender Kräfte kann man sämmtliche in den einzelnen Molekülen eines Körpers thätige Schwerewirkungen zu einer einzigen Mittelkraft vereinigen, in welcher dann die Schwerewirkung des ganzen Körpers koncentrirt ist. — Die Richtung dieser Mittelkraft geht als eine zum Boden senkrecht gestellte Linie durch den ganzen Körper hindurch und in beliebiger Verlängerung nach unten (gegen den Mittelpunkt der Erde), oder sie ist eine durch den Körper hindurch fortgesetzte Verlängerung eines Erdradius. Sie wird als Linie, in welcher die Schwere des Körpers wirkt, »Schwerlinie« genannt, oder auch, weil sie mitten durch den betreffenden Körper hindurchgeht, als dessen »Schweraxe«.

Merkt man sich die Richtung der Schwerlinie für eine bestimmte Lage des Körpers und sucht dann für eine andere Lage des Körpers die Schwerlinie, so findet man, dass diese neu gefundene Schwerlinie die vorher gefundene in einem Punkte schneidet; — und für welche Lage auch man die Schwerlinie noch aufsuchen mag, so findet man diese immer durch denselben Punkt gehend. — In diesem einen Punkt durchkreuzen sich daher sämmtliche Schwerlinien, und man sieht denselben deshalb als denjenigen Punkt des Körpers an, in welchem die ganze Schwerewirkung des Körpers koncentrirt ist. — Man nennt ihn deshalb auch den Schwerpunkt des Körpers. — In der geläufigen Auffassung lässt man die Schwerlinie in diesem Punkte beginnen.

Wenn ein schwerer Körper, welchen andere Kräfte nicht angreifen, sich in Ruhe befinden soll, so muss die Schwerewirkung durch eine gleich grosse entgegenwirkende Kraft aufgehoben sein, und diese Kraft muss in der für die augenblickliche Lage des Körpers gültigen Schwerlinie wirken. Sie kann eine mehr aktiv wirkende Kraft sein, wie der Zug eines Luftballes oder der Zug der Schwerewirkung eines anderen Körpers, welche man mit Hülfe einer Schnur über eine Rolle leitet; — das Gewöhnlichste ist aber die Aufhebung der Schwerewirkung durch die mehr passive Kraft eines Widerstandes.

Ein solcher Widerstand kann oberhalb des Schwerpunktes angebracht sein, so dass die Schwere als Zug auf denselben wirkt; — oder er kann unterhalb des Schwerpunktes angebracht sein, so dass die Schwere als Druck auf denselben wirkt. — Denkt man sich diesen Widerstand punktförmig, so muss er auf die eine wie auf die andere Weise, wenn richtig angebracht, vollständig genügend sein für Aufhebung der Schwerewirkung, weil die Schwerlinie eine mathematische

Linie ist. Indessen ist doch in Bezug auf die Bürgschaft für andauernde Unterstützung *in praxi* ein beträchtlicher Unterschied zwischen beiden Formen des Widerstandes, wie aus dem Folgenden zu ersehen.

Es sei (Fig. 14) ein stabförmiger Körper, an dessen freiem Ende sich eine Kugel befindet, an einem dünnen Zapfen aufgehängt. Man kann ohne wichtigen Fehler die Schwere des Stabes ignoriren und den Schwerpunkt dieses Apparates in den Mittelpunkt der Kugel legen. — So lange dieser letztere senkrecht unter dem Zapfen sich befindet, wirkt die Schwere als Zug auf den Zapfen; dessen Widerstand hebt aber die Wirkung der Schwere auf und der Apparat befindet sich in Ruhe. Wird indessen die Ruhelage gestört, indem die Kugel nach der Seite (z. B. nach der Lage 2) gebracht wird, so zerlegt sich die Schwerewirkung in zwei Komponenten (vgl. den früheren Satz über die Einwirkung der Schwere auf den Hebel); die eine Komponente geht an dem Widerstande des Zapfens, an welchem sie zieht, verloren, — die andere Komponente aber gibt der Kugel eine Drehbewegung nach unten gegen die Stellung 1 hin, — und diese Drehbewegung hört auf, sobald der Schwerpunkt wieder senkrecht unter dem Zapfen angelangt ist. (Allenfallsige Pendelschwingungen natürlich unberücksichtigt gelassen.) Es hat sich somit das gestörte Gleichgewicht von selbst wieder hergestellt. — Deswegen heisst diejenige Form des Gleichgewichts, welche durch Anbringung des Widerstandspunktes über dem Schwerpunkte hergestellt wird, »stabiles Gleichgewicht«.

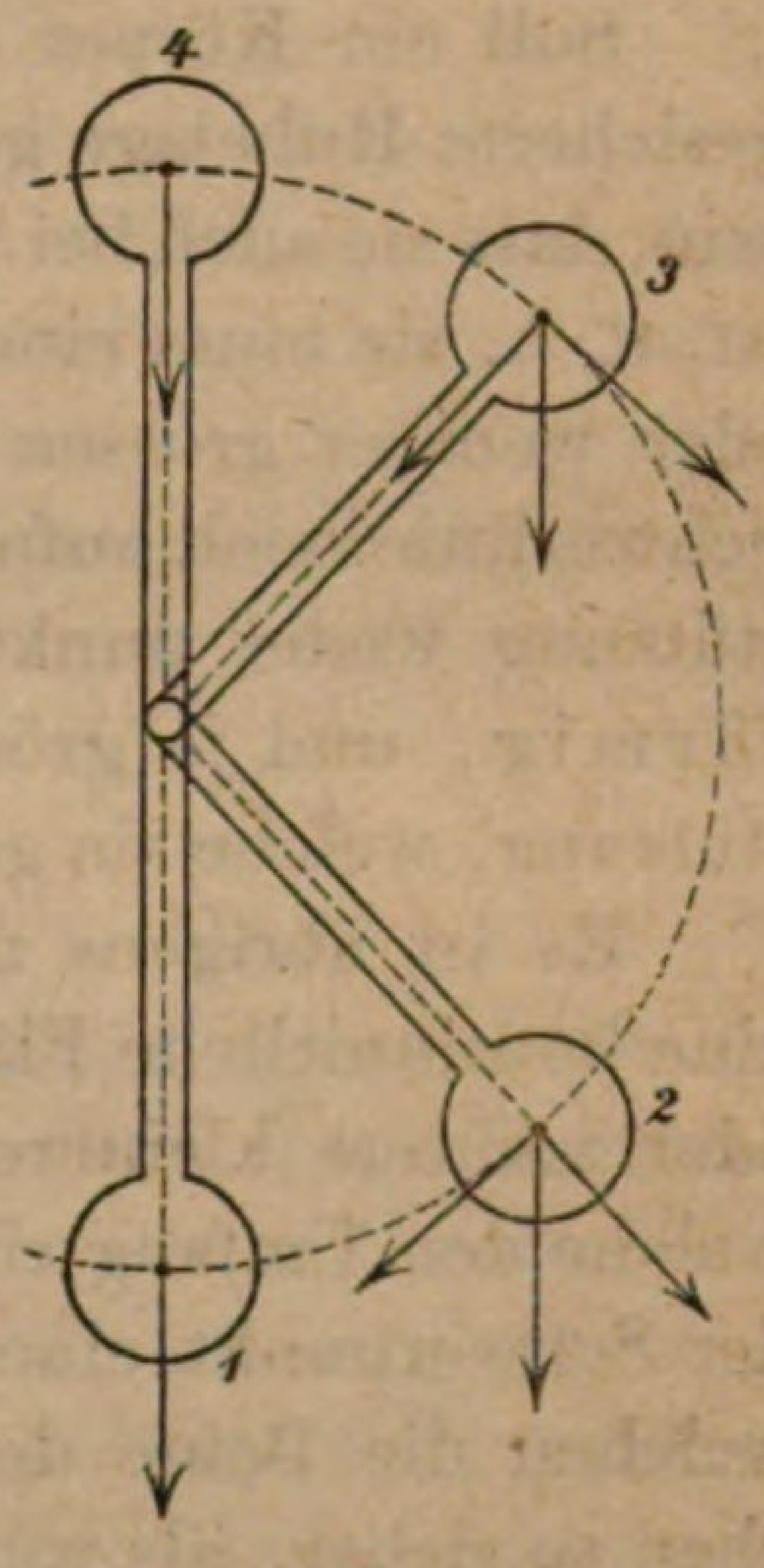


Fig. 14.

Anders ist es, wenn wie in der Stellung 4 der Schwerpunkt sich senkrecht über dem Zapfen befindet und dieser seinen Druck aufnimmt und durch Widerstand aufhebt. Tritt dann eine Störung des Gleichgewichtes durch eine Seitwärtsbewegung ein, z. B. durch Ueberführen in die Stellung 3, dann findet ebenfalls eine Zerlegung der Schwerewirkung in zwei Komponenten statt, von welchen die eine als Druck auf den Zapfen wirkungslos bleibt, während die andere eine Drehbewegung um den Zapfen einleitet, welche erst dann wieder zur Ruhe kommt, wenn der Schwerpunkt unter dem Zapfen angekommen ist. Diese Folgen treten nothwendigerweise schon bei der geringsten seitlichen Verschiebung auf; daher kann die Ruhelage durch Unterstützung des Schwerpunktes nur unter der Bedingung Stand halten, dass auch nicht die unbedeutendste seitliche Verschiebung stattfindet; da nun aber *in praxi*

dieser Bedingung, so zu sagen, niemals entsprochen werden kann, weil die geringste Erschütterung schon eine solche Verschiebung machen muss, so ist diese Form der Unterstützung des Schwerpunktes die unsicherste von allen, und hat die wenigste Bürgschaft für ihren längeren Bestand; die durch sie bedingte Gleichgewichtslage wird deshalb auch als »labiles Gleichgewicht« benannt.

Soll ein Körper durch Unterstützung seines Schwerpunktes in gesicherte Ruhelage gebracht werden, so muss die Unterstützung der Art sein, dass sie auch bei Schwankungen des Schwerpunktes noch zureichend ist, d. h. sie muss eine solche Ausdehnung haben, dass sie auch bei mehr oder weniger grossen seitlichen Verschiebungen des Schwerpunktes die Schwerlinie noch aufnimmt. Dieses ist aber nur der Fall, wenn die Unterstützung weder punktförmig noch linienförmig ist, sondern flächenförmig, und je grösser die Fläche ist, um so sicherer ist die Unterstützung, welche sie gewährt.

Es ist übrigens nicht nothwendig, dass diese Unterstützungsfläche eine kontinuirliche Fläche sei; sie kann auch ersetzt werden durch zwei oder mehrere kleinere Flächen, oder durch eine Anzahl von Punkten, welche den Umfang einer Fläche darstellen. Auf solche Weise wird z. B. der Schwerpunkt eines Tisches durch die vier Punkte unterstützt, mit welchen die Beine den Boden berühren, und es ist dieses Verhältniss eben so sicher, als wenn die Unterstützung durch die ganze von den vier Beinen als Eckpunkten bezeichnete rechteckige Fläche gegeben wäre. Natürlicher Weise müssen dann diese Unterstützungspunkte den ganzen Druck der Schwere unter sich vertheilt übernehmen und es muss die Frage entstehen, nach welchen Gesetzen eine solche Vertheilung zu Stande kommt.

In Fig. 15 sei ein zweiarmiger Hebel, an welchem die beiden Kräfte A und B in der Richtung nach oben wirken. Der Druck auf den Stützpunkt ist nach früher Besprochenem $= A + B$ und ist ebenfalls gegen oben gerichtet. Wäre der Stützpunkt nicht ein absolut ruhig gestellter Punkt, sondern ein beweglicher, so würde er in Ruhe gehalten werden können, wenn in ihm eine Kraft C, welche gleich ist $A + B$, in der Richtung nach abwärts wirken würde. Dasselbe würde aber auch erreicht werden, wenn der Kraft B eine ebenso grosse Kraft B' gegenübergestellt würde, welche nach abwärts gerichtet ist, — und gleichzeitig auch der Kraft A eine nach abwärts gerichtete gleich grosse Kraft A' gegenüber stände. Die in dem Stützpunkt wirkende

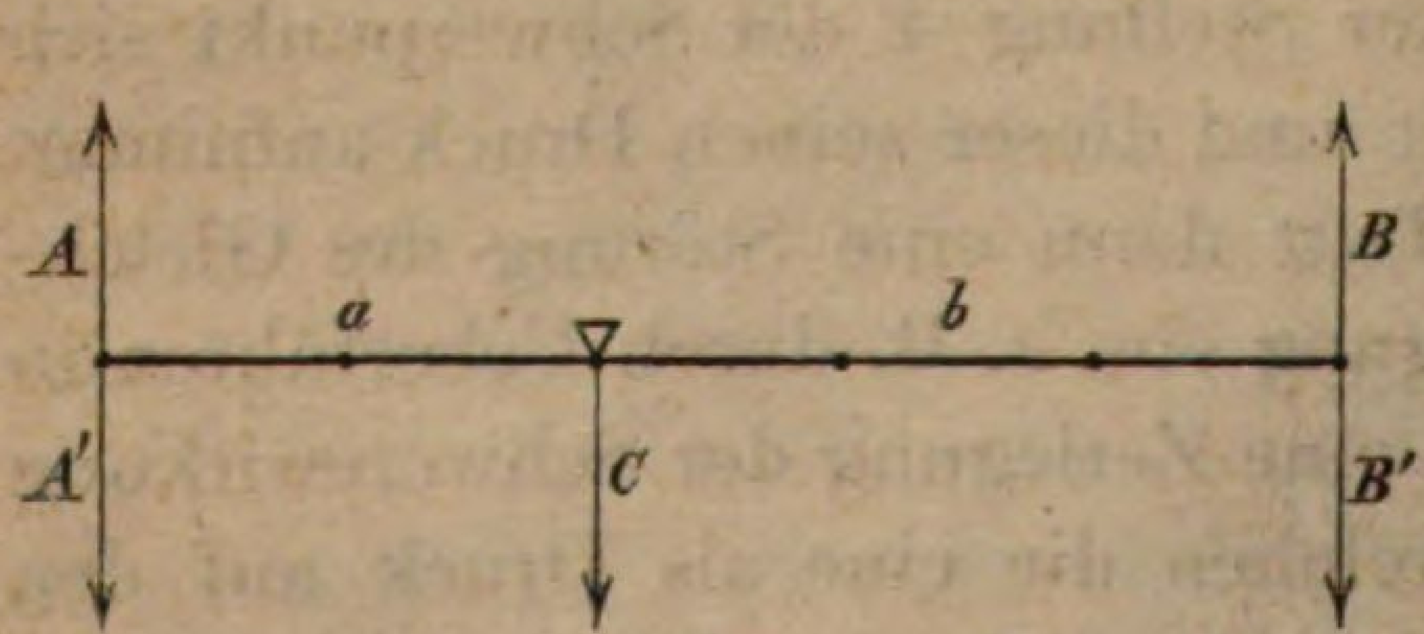


Fig. 15.

Kraft C und die vereinigten beiden Kräfte A' und B' sind demnach gleichwerthig und können sich gegenseitig ersetzen. B' ist aber eine in einer Entfernung = 3 von C wirkende Kraft = 2, und A' eine in einer Entfernung = 2 von C wirkende Kraft = 3 und die Kraft C ist dann = 5. — Denkt man sich nun unter C eine Schwerlinie aus einem Schwerpunkte von dem Werthe 5, — und denkt man sich ferner, dass der Körper, welchem dieser Schwerpunkt angehört, nur durch die Punkte, in welchen A' und B' wirken, gestützt sei, — so wird man einsehen, dass die Schwerelast $C = 5$ sich auf diese Unterlagen so vertheilen muss, dass sie auf der einen Seite als Druck $= A' = 3$ und auf der anderen Seite als Druck $= B' = 2$ erscheint. — Das Gesetz dieser Vertheilung lässt sich also auf die beiden, den Hebelformeln ganz analogen Formeln zurückführen, nämlich

$$C = A' + B'$$

$$A' \,.\, a = B' \,.\, b$$

oder

$$A' : B' = b : a.$$

Da nun die Erscheinungen und die Kraftverhältnisse ganz dieselben sein müssen, an welchen Punkten der Schwerlinie man sich auch die Unterstützungsebene gelegt denken mag, so hat man mit diesem Gesetze ein einfaches Hülfsmittel gewonnen, um eine Schwerlinie in zwei andere Schwerlinien zu zerlegen, beziehungsweise zwei Schwerlinien in eine einzige zu verwandeln. Man kann nämlich dabei natürlich auch solche Theile der Schwerlinien wählen, welche innerhalb des Körpers selbst gelegen sind, und kann die Zerlegung oder Vereinigung schliesslich in die Schwerpunkte selbst verlegen. Es ist dabei nur zu beachten, dass es hierfür nothwendig ist, die drei Schwerpunkte in eine gerade Linie zu legen, damit der Angriffswinkel für alle drei Schwerlinien die gleiche Grösse besitze, und dadurch die gegenseitigen Verhältnisse der Kräfte sich durch oben bezeichnete Formeln wirklich ausgedrückt finden. Man ist durch diese Formeln im Stande, bei gegebenen drei Grössen die anderen zu finden und kann dieses sowohl auf dem Wege der Rechnung, als auch auf demjenigen der Konstruktion finden.

Dieses Verfahren findet Anwendung, wenn es gilt, die gemeinsame Schwerewirkung nach Lage und Grösse für die Vereinigung von zwei oder mehr Körpern zu gewinnen, welche in einer gewissen Gruppirung ein einheitliches Ganze bilden.

Es sei z. B. (Fig. 16 und 17) der gemeinsame Schwerpunkt der beiden vereinigten Kugeln K und k zu finden. — Man verbinde deren beide Schwerpunkte durch eine Linie, und theile diese Linie in 9 gleiche Theile, weil die Schwere von $K +$ der Schwere von $k = 9$ ist und zerlege nun die 9 Theile der Linie in 2 Abtheilungen, von welchen die eine = 1 an dem Schwerpunkt der grösseren und die andere = 8 an dem

Schwerpunkt der kleineren Kugel liegt, — an der Grenze beider Abtheilungen in *c* liegt der gemeinsame Schwerpunkt = 9.

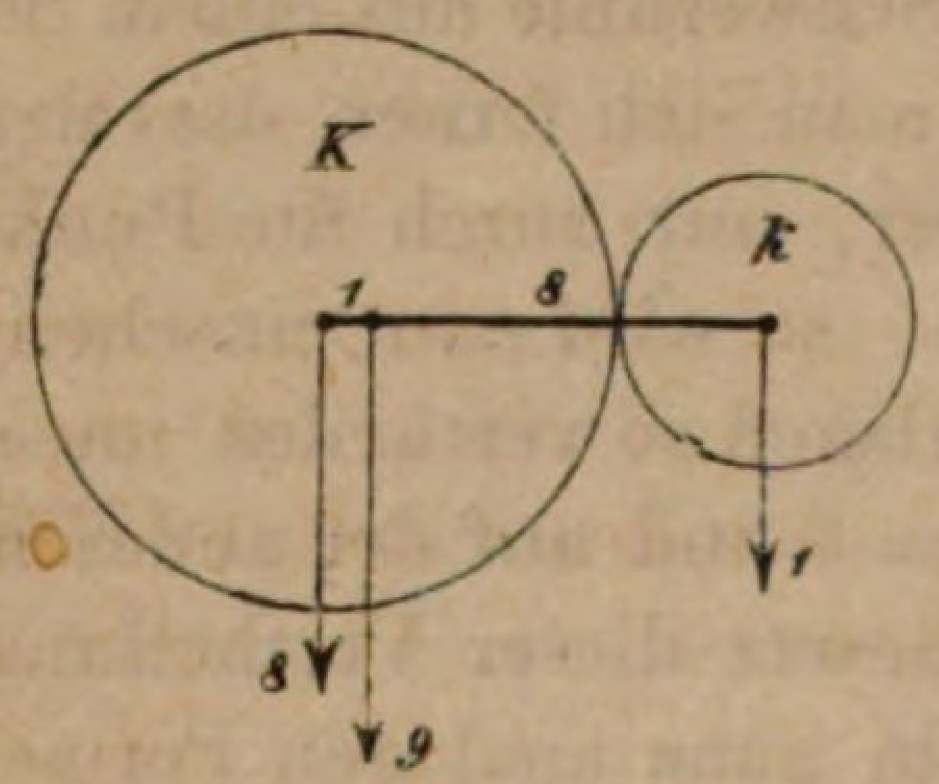


Fig. 16.

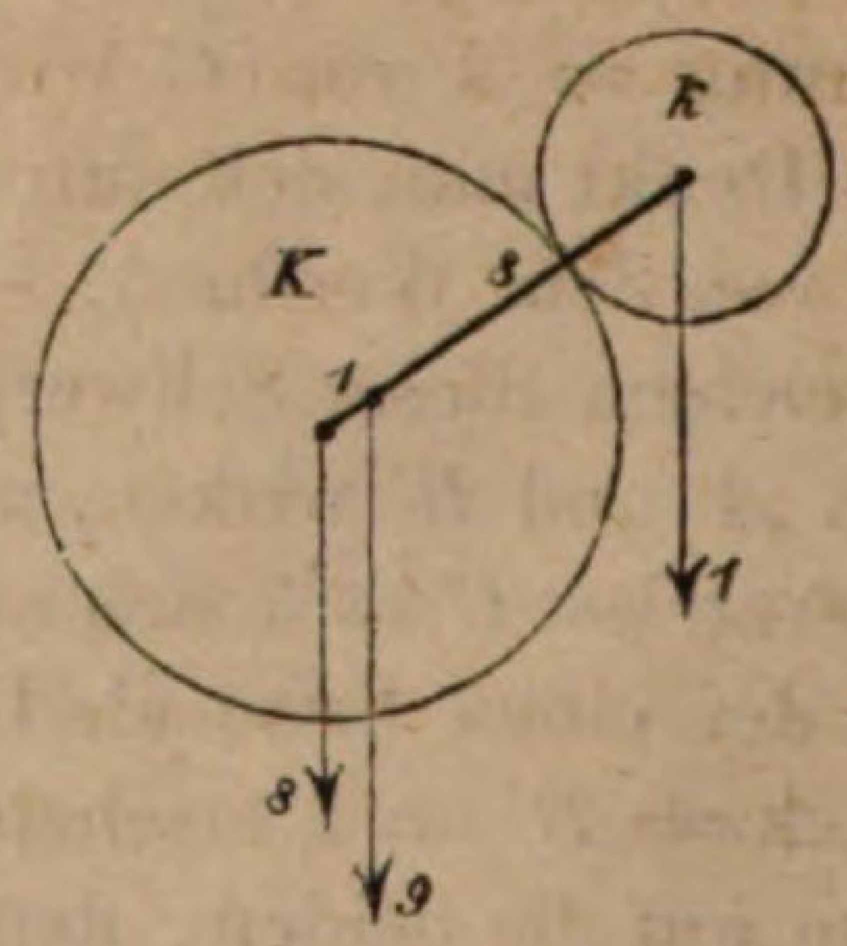


Fig. 17.

Ebenso lässt sich auch, wenn der gemeinsame Schwerpunkt und einer der Einzeln-Schwerpunkte nach Lage und Grösse bekannt ist, der andere nach Lage und Grösse auffinden, und damit eine Auflösung des gemeinsamen Schwerpunktes in zwei Einzeln-Schwerpunkte gewinnen.

Die Materialien, aus welchen das Knochengerüst aufgebaut ist.

Die Materialien, welche das Knochengerüst aufbauen, ermöglichen dessen mechanische und statische Funktionen durch die physikalischen Eigenschaften, welche sie besitzen. Leider sind indessen diese noch keineswegs genügend gekannt. Man muss sich daher bei einer Uebersicht über diejenigen Eigenschaften der bezeichneten Materialien, welche für die Funktion des Knochengerüstes wichtig werden, auf Allgemeineres beschränken. Die Festigkeiten gegen eine Kompression und gegen eine Zerreissung, sowie die Elasticität der Gewebe sind die Eigenschaften, welche hier vorzugsweise in Rücksicht kommen.

1) Das Knochengewebe ist ausgezeichnet durch sehr beträchtliche absolute und rückwirkende Festigkeit. Genauere Angaben finden sich indessen nur über die absolute Festigkeit und diese Angaben sind noch dazu keineswegs übereinstimmend.

Nach Bevau (Valentin's Lehrbuch der Physiologie, Band I, S. 110) tritt Zerreissung des Knochengewebes ein bei einer Belastung von 368—743 Centnern auf den Quadratzoll.

Nach Wertheim dagegen (Annales de chimie et physique. XXI. 1847) schwankt die absolute Festigkeit des Knochengewebes zwischen 3,30 und 15,03 Kilogramm auf den Quadratmillimeter. Den Quadratzoll zu 900 Quadratmillimeter und den Centner zu 50 Kilogramm gerechnet sind diese Werthe gleich: 2976—13527 Kilogramm oder 59,40—270,54 Centner auf den Quadratzoll.

Wertheim's Maximum ist demnach nur etwa drei Viertel von Bevau's Minimum, — eine Differenz, bei welcher eine Ausgleichung nur durch neue Versuche angestrebt werden kann.

Zum Vergleiche seien noch einige Festigkeitswerthe hingestellt, welche entnommen sind aus: Weisbach's Lehrbuch der Ingenieur- und Maschinenmechanik. 2. Aufl. Bd. I. S. 249. — Auf den Quadratzoll ist die zum Zerreissen führende Belastung für:

Stabeisen	580	Centner
Gusseisen	190	-
Kupfer	440	-
Blei	19	-
Holz [1])	120	-
Marmor	20	-

Ueber den Werth der rückwirkenden Festigkeit fehlen noch Angaben, indessen muss derselbe doch jedenfalls auch sehr beträchtlich sein; wenigstens weist darauf die bedeutende Härte und geringe Sprödigkeit der Knochensubstanz hin.

Die sogenannte relative Festigkeit als kombinirte Wirkung der absoluten und der rückwirkenden Festigkeit muss, da ihre beiden Elemente einen grossen Werth besitzen, ebenfalls von bedeutendem Werthe sein. Dünnere Knochenstücke haben deshalb auch einen nicht unbeträchtlichen Grad von Biegsamkeit.

Von den verschiedenen Arten der Elasticität sind es namentlich die relative und die Torsions-Elasticität, welche bei dem Knochengewebe ausgesprochen sind und gelegentlich in Wirkung treten. — Die relative Elasticität findet Anwendung bei der Bewegung des Oberkiefers und des Kniegelenkes der Vögel und am menschlichen Knochengerüste bei dem unteren Theile der Fibula für den genaueren seitlichen Schluss des Fussgelenkes. — Die Torsionselasticität scheint bei den Rippen von Bedeutung zu werden.

2) Das Knorpelgewebe ist bei geringerer absoluter Festigkeit ausgezeichnet durch eine sehr beträchtliche rückwirkende Festigkeit und namentlich durch bedeutende rückwirkende Elasticität. Diesem Umstande verdankt es seine Bedeutung für die Ueberkleidung der Gelenkflächen. — Seine relative Festigkeit gründet sich vorzugsweise auf seine rückwirkende Festigkeit und hat deshalb eine gewisse Grenze, nach deren Ueberschreitung ein ziemlich glatter Querbruch eintritt. — Eine gewisse Torsionselasticität scheint bei den Rippenknorpeln Anwendung zu finden.

3) Das fibrose Gewebe, welches in Gestalt der Gelenkbänder an dem Aufbau des Knochengerüstes Theil nimmt, ist ausgezeichnet durch seine Zähigkeit, d. h. durch Verbindung von geschmeidiger Biegsamkeit mit beträchtlicher absoluter Festigkeit. — Da seine Dehnbarkeit nur eine geringe ist, ist seine Verwendung in den Bändern und Symphysenscheiben besonders geeignet für Fixirung zweier Knochenstücke an einander durch Gegenspannung. — Wegen dieser geringen Dehnbarkeit kann sich die entsprechende absolute Elasticität nur in

1) Buchen-, Eichen-, Fichten-, Kiefer- und Tannenholz in der Axenrichtung.

geringem Grade geltend machen. Ueber die absolute Festigkeit des fibrosen Gewebes besitzt man einige Angaben von VALENTIN (Lehrbuch der Physiologie. Bd. I. S. 34):

Die Sehne des *m. plantaris* zerriss bei 18 Pfund Belastung und diejenige des *m. palmaris* bei 23 Pfund Belastung; nach den zugleich mitgetheilten Angaben über die Durchmesser beider Sehnen berechnet VALENTIN diese Werthe für eine runde Sehne von einer Linie Durchmesser auf im Mittel 26,43 Pfund. — Auf den Quadratzoll zurückgeführt würde dieser Werth 33,67 Centner sein.

Zum Vergleiche seien daneben gestellt folgende Werthe der absoluten Festigkeit für einen Quadratzoll Durchschnitt, welche ebenfalls dem Lehrbuche von WEISBACH l. c. entnommen sind:

Eisendraht	1000 Centner
Kupferdraht	590 -
Bleidraht	20 -
Seile	50—90 -

4) Das elastische Gewebe ist, wie das fibrose, von grosser absoluter Festigkeit, aber von viel grösserer Dehnbarkeit und besitzt deshalb auch eine sehr vollkommene Tensionselasticität. — Sein hauptsächlichstes Vorkommen an dem menschlichen Knochengerüste ist in den *ligamenta flava* der Wirbelsäule und hier wirkt es durch seine Elasticität als ein wichtiger Faktor auf die aufrechte Haltung der Wirbelsäule.

5) Das Muskelgewebe ist zwar vorzugsweise durch seine lebendige Kontraktilität aktives Movens; indessen kömmt doch auch die Elasticität des nicht contrahirten Muskels häufig in Rechnung, indem dieselbe sich manchmal gewissen Bewegungen hemmend entgegenstellen kann, wie z. B. die Knieflexoren eine übertriebene Beckenneigung nach vorn hemmen können, — und indem dieselbe mit der aktiven Kontraktion eines Antagonisten vereint das Aneinanderdrücken zweier Gelenkflächen unterstützt.

Verkürzte Muskeln in sogenannten Kontrakturen können namentlich bedeutende Hemmung für Bewegungen werden.

Der ganze Knochen.

Der ganze Knochen ist ein einzelnes Element in dem Mechanismus des Knochengerüstes, welches geeignet ist, in dieser Eigenschaft zu dienen durch die Eigenschaften der Knochensubstanz, welche den Haupttheil desselben bildet, und der Knorpelsubstanz, welche die Gelenkenden überkleidet. Da dieser letztere Theil des Knochens mehr Wichtigkeit für die Gelenkverbindung als solche hat, auch mit Ausnahme der Rippenknorpel nur eine verhältnissmässig dünne Ueberkleidung eines Theiles der Knochenoberfläche darstellt, so ist die Gestalt und Beschaffenheit des aus Knochensubstanz gebildeten Theiles des einzelnen Knochens allein massgebend für seine Bedeutung in dem Mechanismus des Knochengerüstes.

Diese Bedeutung ist aber theils eine mechanische, theils eine statische. In ersterer Beziehung kommt mehr die relative Festigkeit des Knochengewebes, beziehungsweise des ganzen Knochens in der ihm eigenthümlichen Gestalt in Rücksicht; in letzterer Beziehung mehr deren rückwirkende Festigkeit, beziehungsweise Elasticität.

Für das Funktioniren des Knochens in beiden Richtungen kommt es übrigens nicht allein auf die Eigenschaft des Knochengewebes an, sondern auch auf die äussere Gestalt, in welcher diese angeordnet ist. Ist es ja auch für die Statik der Bauwerke von Wichtigkeit, wie die Gestalt des Querschnittes bei einem Tragbalken gewählt wird und wie der Querschnitt einer stützenden Säule beschaffen ist. Es ist bekannt, dass es in beiden Beziehungen nicht nur auf die Eigenschaften und auf die Menge des verwendeten Materials ankommt, sondern sehr wesentlich auch auf die Vertheilung und Anordnung der Masse, so dass eine geringere Menge Material in zweckmässiger Anordnung mehr zu leisten vermag als eine grössere Menge desselben Materials in unzweckmässiger Anordnung. Der mit verhältnissmässig wenigem Material hergestellte Bau der Kettenbrücken und der Röhrenbrücken gibt hierfür genügend Zeugniss.

In dieser Beziehung sind nun zwei Hauptanordnungsweisen der Knochensubstanz zu unterscheiden, nämlich die Anordnung in Gestalt:

1) der Röhren, wie wir sie in dem Mittelstücke der langen Knochen antreffen und
2) der spongiosen Substanz, wie sie in den rundlichen Knochen und in den Gelenkenden der langen Knochen gefunden wird.

Als dritte Form kann man noch die kuppelgewölbeartige Schalenbildung aus fast kompakter Knochensubstanz anführen, wie sie sich in einem freilich nur kleinen Gebiete, in dem Schädel nämlich, verwendet findet.

Für die beiden oben aufgestellten Arten der Anordnung der Knochensubstanz ist in Bezug auf ihre Leistungsfähigkeit zu prüfen:

a) ihre Widerstandsfähigkeit gegen Brechung durch Biegen,
b) ihre Widerstandsfähigkeit gegen Brechung durch eine Belastung, deren Schwere in der Richtung ihrer Axe wirkt.

Die Leistungsfähigkeit in dem ersteren Sinne bezeichnet ihre Verwendbarkeit als Tragbalken; diejenige in dem zweiten Sinne ihre Verwendbarkeit als stützende Säulen.

1. Die Leistungsfähigkeit des Knochens.

Es ist sehr zu bedauern, dass brauchbare Angaben über den Festigkeitsmodul und über den Elasticitätsmodul der Knochensubstanz nicht vorhanden sind. Es würde dann vielleicht möglich sein, die absolute Leistungsfähigkeit eines bestimmten Knochens wenigstens annähernd zu berechnen. Bis über die angegebenen beiden Punkte genügende Angaben vorliegen, muss es daher genügen, das gegenseitige Leistungsvermögen der drei verschiedenen Formen: massiv, hohl und spongios zu untersuchen. In beigefügter Tabelle sind verschiedene hierher gehörige Verhältnisse vergleichend neben einander gestellt. Bei Berechnung derselben war vorausgesetzt, dass die Substanz der gedachten Knochenformen den gleichen Festigkeitsmodul und den gleichen Elasticitätsmodul besitze und dass die Länge der verglichenen Knochenstücke immer die gleiche sei. Dadurch war es möglich, den von diesen Grössen abhängigen Faktor der Formel wegzulassen und nur die gegenseitigen Verhältnisszahlen zur Vergleichung zu gewinnen. — Zugleich wurde vorausgesetzt, 1) dass der Querschnitt der Knochen ein kreisförmiger sei und zwar sowohl für die Peripherie als auch für das Lumen, und 2) dass die Querschnittskreise der Peripherie und des Lumens koncentrisch seien. — Statt der spongiosen Anordnung wurde ein System koncentrisch in einander geschachtelter Lamellen vorausgesetzt.

Die zur Vergleichung gewählten Knochenstücke sind:

1) ein massiver Cylinder von 50 Radius;

2) ein hohler Cylinder von 50 Radius der äusseren Peripherie (r) und 30 Radius des Lumens ($r_{,}$); — als schematisches Bild eines gesunden Röhrenknochens;

3) ein Lamellensystem, die Spongiosa vertretend; von diesem wurde vorausgesetzt, dass seine Substanz auf dem Querschnitt den gleichen Flächeninhalt darbiete, wie der unter 2 gedachte Röhrenknochen. Der Radius der äusseren Peripherie (r) der äussersten Lamelle war dabei zu 100 angesetzt, derjenige der folgenden zu 90 und so fort für die folgenden zu 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10. Durch Berechnung wurde sodann gefunden, dass zur Erfüllung der vorher angegebenen Voraussetzung jede Lamelle eine Dicke haben müsse von 1,31, so dass also die Radien der zu den einzelnen Lamellen gehörigen Lumina ($r_{,}$) zu setzen waren auf 98,69 — 88,69 — 78,69, — 68,69 — 58,69 — 48,69 — 38,69 — 28,69 — 18,69 — 8,69. — Bei Aufstellung dieses Lamellensystems war gedacht, dass damit etwa das in Spongiosa aufgelöste Gelenkende des Röhrenknochens 2 annähernd wiedergegeben sein könne;

4) ein hohler Cylinder von einem Radius der äusseren Peripherie (r) gleich 50, wie bei 1 und bei 2, aber von einem Radius des Lumen ($r_{,}$) gleich 40; — dieser als Bild eines marastischen Knochens. — (Siehe nebenstehende Tabelle.)

In dieser Tabelle ist unter F die Kraft angegeben, welche gerade genügend ist, den Knochen abzubrechen, wenn sie senkrecht zur Axe desselben einwirkt, — und unter P diejenige Kraft, welche, in der Richtung der Axe wirkend, gerade genügend sein würde zum Zerknicken. — F drückt demnach die Leistungsfähigkeit des Knochens als Tragbalken aus und P die Leistungsfähigkeit desselben als Stützsäule. — Die Doppelkolumne A gibt die betreffenden Werthe, wie sie unmittelbar aus der Rechnung hervorgegangen sind. Da aber diese Werthe keine absoluten Werthe sind, sondern nur das gegenseitige Verhältniss der Widerstandskräfte für die verschiedenen in der ersten und zweiten Spalte aufgestellten Annahmen angeben sollen, — so sind in den Doppelkolumnen B und C diese Werthe alle auf die Einheit 1000 zurückgeführt, und als massgebend ist der massive Cylinder von Radius = 50 gewählt. In der Doppelkolumne B ist dessen F und in der Doppelkolumne C dessen P gleich 1000 gesetzt.

Die beiden kleineren Tabellen I und II geben nicht etwas Neues, sondern enthalten nur eine auszugsweise Zusammenstellung einiger der

Gleichheit von Festigkeitsmodul, Elasticitätsmodul u. Länge.	Radius.	Querschnitt.	A. F Biegungsmoment.	A. P Tragkraft als Säule.	B. F	B. P	C. F	C. P
1. Massiver Cylinder	$r=50$	$2500\,\pi$	98197	12111635	**1000**	123342	8,108	**1000**
2. Hohlcylinder gesunder Knochen.	$r=50$ $r_{,}=30$	$1600\,\pi$	85471	10542210	870,40	107357	7,057	870,40
3. Massiver Cylinder F wie in 2.	$r=47{,}7393$	$2279\,\pi$	85471	10065560	870,40	102503	7,057	831,05
4. Massiver Cylinder P wie in 2.	$r=48{,}2947$	$2332\,\pi$	88491	10542210	901,15	107357	7,306	870,40
5. Lamellensystem Querschnitt wie in 2.	s. unten *)	$1600\,\pi$	154367	29965110	1572,00	305151	12,745	2472,02
6. Massiver Cylinder F wie in 5.	$r=58{,}137$	$3380\,\pi$	154367	22087650	1572,00	225449	12,745	1827,33
7. Massiver Cylinder P wie in 5.	$r=62{,}744$	$3937\,\pi$	194045	29965110	1976,10	305151	16,021	2472,02
8. Massiver Cylinder Querschnitt wie in 2 und 5.	$r=40$	$1600\,\pi$	50277	4961040	512,00	50521	4,151	409,60
9. Massiver Cylinder Durchmesser wie in 5.	$r=100$	$10000\,\pi$	785581	193791000	8000,00	1973524	64,860	16000,00
10. Hohlcylinder marastischer Knochen.	$r=50$ $r_{,}=40$	$900\,\pi$	57976	7150900	590,40	72821	4,787	590,40
11. Massiver Cylinder F wie in 10.	$r=41{,}945$	$1759\,\pi$	57976	5998957	590,40	61091	4,787	495,29
12. Massiver Cylinder P wie in 10.	$r=43{,}828$	$1921\,\pi$	66140	7150900	673,52	72821	5,461	590,40
13. Massiver Cylinder Querschnitt wie in 10.	$r=30$	$900\,\pi$	21216	1569704	216,00	15985	1,751	129,60

*) $r=10$ $r_{,}=8{,}69$ $r=20$ $r_{,}=18{,}69$ $r=100$ $r_{,}=98{,}69$.

		A. F.	A. P.	B. F.	B. P.	C. F.	C. P.
I. Gleicher Querschnitt $1600\,\pi$	8. Massiver Cylinder $r=40$	50277	4961040	**1000**	98674	10	**1000**
	2. Hohler Cylinder $r=50$ $r_{,}=30$. .	85471	10542210	1700	209683	17	2125
	5. Lamellensystem	154367	29965110	3070	595998	31	6040

		A. F.	A. P.	B. F.	B. P.	C. F.	C. P.
II. Gleicher Durchmesser $r=50$.	1. Massiver Cylinder	98197	12111635	**1000**	123342	8,1075	**1000**
	2. Hohler Cylinder $r_{,}=30$	85471	10542210	870,40	107357	7,0567	870,40
	10. Hohler Cylinder $r_{,}=40$	57976	7150900	590,40	72821	4,7867	590,40

wichtigsten Werthe. Dabei musste indessen für die Zusammenstellung der für die gleichen Querschnitte geltenden Werthe dem als massgebend für die Einheit 1000 zu setzenden massiven Cylinder der Radius = 40 gegeben werden, damit sein Querschnitt demjenigen der anderen beiden gleich sei.

Anmerkung: Ueber die zur Berechnung verwendeten Formeln ist zu vergleichen: WEISBACH, Lehrbuch der Ingenieur- und Maschinen-Mechanik. Zweite Auflage. Band I. — Die anzuführenden Seitenzahlen verweisen hierauf. — S. 297 ist zur Bestimmung der Kraft, welche einen senkrecht zur Axe belasteten, an dem einen Ende eingemauerten cylindrischen Balken zu brechen gerade genügend ist, die Formel aufgestellt:

$$P \cdot l \cdot = \frac{\pi}{4} \cdot r^4 \cdot \frac{K}{r}.$$

P bedeutet die brechende Kraft, wird aber besser durch einen anderen Buchstaben ersetzt, etwa durch F, weil die zum Zerknicken einer belasteten Säule genügende Kraft von WEISBACH ebenfalls mit P bezeichnet wird. — K bedeutet den Festigkeitsmodul der Substanz des Balkens; — l die Länge des Balkens, — r seinen Halbmesser. Diese Formel lässt sich leicht so umgestalten, dass die beiden Faktoren K und l mit einander vereinigt sind:

$$F \cdot l = \frac{\pi}{4} \cdot r^4 \cdot \frac{K}{r}$$

$$= \frac{\pi}{4} \cdot \frac{r^4}{r} \cdot K$$

$$1) \cdots\cdots F = \frac{\pi}{4} \cdot r^3 \cdot \frac{K}{l}.$$

Für den Hohlcylinder ist die Formel, wenn $r_{,}$ der Radius des Lumens ist:

$$F \cdot l = \frac{\pi}{4} (r^4 - r_{,}^4) \frac{K}{r}$$

$$= \frac{\pi}{4} \left(\frac{r^4 - r_{,}^4}{r}\right) K$$

$$2) \cdots\cdots F = \frac{\pi}{4} \left(\frac{r^4 - r_{,}^4}{r}\right) \frac{K}{l}.$$

Nach S. 290 ist die zum Zerknicken einer in der Richtung der Axe belasteten cylindrischen Säule gerade genügende Kraft P gegeben durch die Formel:

$$P = \left(\frac{\pi}{2l}\right)^2 \cdot W \cdot E.$$

$W \cdot E$ ist das »Biegungsmoment« als Produkt des Elasticitätsmoduls (E) und des Masses des Biegungsmomentes (W), wie dieses durch die Gestalt des Querschnittes der Säule gegeben ist. Auch diese Formel lässt sich leicht so umgestalten, dass die Grössen E und l vereinigt sind:

$$P = \left(\frac{\pi}{2l}\right)^2 \cdot W \cdot E$$

$$= \frac{\pi^2}{4 \cdot l^2} \cdot W \cdot E$$

$$a) \cdots\cdots = \frac{\pi^2}{4} \cdot W \cdot \frac{E}{l^2}.$$

Nach S. 265 ist nun aber für den Cylinder

$$W = \frac{\pi}{4} \cdot r^4.$$

Setzt man diesen Werth in die Formel a ein, so erhält man:

$$P = \frac{\pi^2}{4} \cdot W \cdot \frac{E}{l^2}$$

$$= \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot r^4 \cdot \frac{E}{l^2}$$

$$3) \cdots\cdots P = \frac{\pi^3}{16} \cdot r^4 \cdot \frac{E}{l^2}.$$

Für den Hohlcylinder ist (S. 265)

$$W = \frac{\pi}{4} (r^4 - r_{,}^4).$$

Setzt man diesen Werth in die Formel a, so erhält man:

$$P = \frac{\pi^2}{4} \cdot W \cdot \frac{E}{l^2}$$

$$= \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{\pi}{4} (r^4 - r_{,}^4) \frac{E}{l^2}$$

$$4) \cdots\cdots P = \frac{\pi^3}{16} (r^4 - r_{,}^4) \frac{E}{l^2}.$$

Die vier Formeln 1, 2, 3 und 4 sind zur Berechnung der Tabelle verwendet. Ihre Umgestaltung aus den ursprünglichen Formeln hatte den Zweck, dass aus oben angegebenen Gründen die Faktoren $\frac{K}{l}$ und $\frac{E}{l^2}$, als zur Vergleichung nicht nothwendig, weggelassen werden konnten; gerade so wie in der Kolumne für Vergleichung des Querschnittes auch nur das r^2 und das $r^2 - r_{,}^2$ in Zahlen ausgedrückt ist. — Genau genommen sollte, wie der Angabe des Querschnittes dem Werthe für r^2 das π beigefügt ist, auch jedem Werthe von F beigefügt sein $\frac{K}{l}$ und jedem Werthe für P ebenso beigefügt sein $\frac{E}{l^2}$.

Die Tabelle gibt genügendste Aufklärung darüber:

1. dass durch Höhlenbildung in dem Knochen die Widerstandsfähigkeit desselben nicht in dem Masse vermindert wird, wie die Substanz abnimmt. Die drei in der zweiten Auszugstabelle II zusammengestellten Knochen können dieses in leichter Uebersicht zeigen; denn bei gleichem äusseren Durchmesser ist der Flächeninhalt ihrer Querschnitte in dem Verhältniss von 25 : 16 : 9 oder 100 : 64 : 36 und ihre Widerstandsfähigkeit in beiden Beziehungen in dem Verhältniss von 100 : 87 : 59;
2. dass bei Verwendung der gleichen Menge von Substanz (bei gleichem Querschnitte) die hohlen Knochenformen mit der Vergrösserung des Halbmessers ihrer äusseren Peripherie auch

an Widerstandsfähigkeit zunehmen und zwar mehr als dem Verhältniss der Zunahme des Radius entspricht. — In der ersten Auszugstabelle I verhalten sich die drei ausgehobenen Beispiele bei gleichem Querschnitte in ihrem Radius wie 4 : 5 : 10 oder wie 100 : 125 : 250; die Widerstandsfähigkeiten *F* wie 100 : 170 : 307 und die Widerstandsfähigkeiten *P* wie 100 : 213 : 604.

Zugleich ist aus den mitgetheilten Verhältnissen zu ersehen, dass die Spongiosa als aufgelockertere Knochensubstanz darum nicht minder widerstandsfähig ist und doch ist bei dem zur Vergleichung mit der Spongiosa berechneten Lamellensystem ein zur Widerstandsfähigkeit sehr wesentlich beitragendes Element gänzlich ausser der Betrachtung gelassen. Allerdings besteht die Spongiosa aus Lamellen, welche man für die meisten Fälle im Schema als koncentrisch in einander geschachtelt ansehen kann in der Art, wie das oben aufgestellte Lamellensystem angeordnet ist, indessen ist nicht zu übersehen, dass alle Lamellen der Spongiosa durch Querstäbe unter einander verbunden sind, welche zusammen ein System radial gestellter Leistchen darstellen, die sowohl gegen Biegung den Widerstand verstärken müssen, als auch die Lamellen gegenseitig so mit einander verbinden, dass dadurch die einzelne Lamelle für sich nicht ausweichen kann, wenn eine Belastnng in der Richtung der Längenaxe stattfindet, indem sie an den benachbarten Lamellen Halt und Stütze findet. Diese radialen Stäbe oder Lamellen leisten daher Aehnliches wie die longitudinalen Scheidewände in dem doppelten Boden und der doppelten Decke der Röhrenbrücken, — und stellen somit eine Art von Mittelform her zwischen dem Lamellensystem und dem massiven Cylinder von gleichem Durchmesser.

2. Die Architektur der Spongiosa.

In dem Bisherigen wurde der spongiose Knochen nur für sich untersucht und das Verhältniss seiner Leistungsfähigkeit zu der Leistungsfähigkeit des Röhrenknochens besprochen. Es ist aber nun im Weiteren zu berücksichtigen, dass allerdings gewisse Knochen durchaus den spongiosen Charakter tragen, wie die Wirbelkörper und die Fusswurzelknochen, dass aber reine Röhrenknochen nie gefunden werden, indem der Charakter der Röhre mit vollständig freiem Lumen nur dem Mittelstücke gewisser langer Knochen zukommt, deren Gelenkenden von spongioser Beschaffenheit sind, und es ist zu ermitteln, in welcher Weise die beiden verschiedenen Anordnungsarten der Knochensubstanz in Beziehung zu einander stehen.

Das gegenseitige räumliche Verhältniss der sogenannten *substantia dura* und der *substantia spongiosa* ist folgendes: die *substantia dura* bildet die äussere Schicht des ganzen Knochens und zwar ist sie in dem Mittelstücke in erheblicher Dicke ganz allein vorhanden und bildet die Wandung der Röhre; gegen die Gelenkenden hin nimmt sie, dem zunehmenden Durchmesser dieser entsprechend, an äusserem Umfange zu, wird aber allmälig dünner, bis sie endlich in der Nähe des Gelenkknorpels in eine papierdünne Platte ausläuft. In dem Verhältniss, in welchem die Dicke abnimmt, füllt sich der umschlossene Raum von der *substantia dura* her allmälig mit *substantia spongiosa*, bis endlich in dem Gelenkende selbst der ganze von der Knochenoberfläche umschriebene Raum mit *substantia spongiosa* erfüllt erscheint. Das Ganze macht den Eindruck, als ob die *substantia dura* des Mittelstückes sich allmälig in das blätterige Gefüge der *substantia spongiosa* auflöse und zu einer Art von Knochenschaum werde. Dieses Bild, welches man an dem Längsschnitte eines Röhrenknochens leicht gewinnen kann, bietet sich schöner dar an den Knochen der unteren Extremität, als an denjenigen der oberen.

Genauere Untersuchung lehrt indessen, dass das gegenseitige Verhältniss der beiden Anordnungsweisen der Knochensubstanz anders aufgefasst werden muss.

Nehmen wir ein belastetes Stück irgend einer Substanz an, also z. B. ein massives Stück Knochensubstanz von der Gestalt des Kalkaneus, welches mit einem vorderen und einem hinteren Punkte den Boden berührt und auf einer kleineren oberen Fläche belastet ist. Bei einem solchen Stücke ist es klar, dass der Belastungsdruck sich von seiner Einwirkungsstelle aus nach vorn und nach hinten auf die Stützpunkte fortpflanzen muss und dass die Stützpunkte von dem Boden einen Gegendruck empfangen müssen, welcher mit dem in ihnen wirkenden Gewölbedruck zusammen diejenige Resultirende erzeugt, welche als Horizontalschub bezeichnet wird. Der obere Theil eines solchen Knochens wird demnach in der Richtung von der Belastungsstelle nach den beiden Stützpunkten hin eine Druckwirkung erfahren, welche ihn in beiden Richtungen zu komprimiren sucht, so dass also hier die rückwirkende Festigkeit der Substanz in Anspruch genommen wird. Dagegen wird der Horizontalschub die unteren Theile zwischen den Stützpunkten auseinander zu zerren suchen, so dass in diesen eine Zugwirkung sich geltend macht, welcher die absolute Festigkeit der Substanz zu widerstehen hat. Zwischen diesen drei Richtungen muss sich ein neutraler dreieckiger Raum befinden, und als Schema des ganzen Bildes stehen zwei dachstuhlartig unter einander verbundene Balken (Sparren) da, zwischen deren auf dem Boden stehenden Fusspunkten ein Streckband (Stab, Strick, Kette) zur Hemmung des Horizontalschubes angebracht ist. Von bekannteren

Gegenständen gibt das gleiche Bild eine Stellleiter, deren beide Theile an ihrem unteren Ende durch eine das Auseinanderrutschen hemmende Kette verbunden sind. — Die von verschiedenen Nebenumständen, namentlich von der Gestalt des Querschnittes, abhängige genauere Gestaltung der Richtungen, in welchen jene Druck- und Zugwirkungen die Substanz durchziehen, gewinnt die Mechanik auf dem Wege der Berechnung und der Konstruktion, und namentlich hat die graphische Statik das Verdienst, diese Richtungen durch Zeichnungen mit Hülfe der Konstruktion in möglichst einfacher Weise zu veranschaulichen. Es ist nun leicht einzusehen, dass in solchen Fällen, in welchen mindere Tragfähigkeit verlangt ist, als die kompakte Masse sie gewährt, in welchen indessen doch derselbe äussere Umfang gegeben sein soll, die kompakte Masse durch ein System von Blättern oder Stäben ersetzt werden kann; es ist aber nothwendig, dass die Richtung dieser Stäbe dieselbe sei, in welcher die Druck- resp. Zugwirkungen sich geltend machen, denn nur auf diese Weise können sie eine zu ihrer geringeren Masse in günstigstem Verhältniss stehende Widerstandsfähigkeit zur Geltung bringen. In solcher Weise stellt man ja auch einen Tisch auf nur vier senkrechte Beine, welche dann den Anforderungen ebenso genügen, wie ein massiver Block, der mehr Widerstandsfähigkeit haben würde, als nöthig wäre; und in gleicher Weise stellt man Gebäude auf einen sogenannten Rost von einzelnen Pfählen, welche bis auf festeren Grund eingerammt sind.

Es ist nun von besonderem Interesse zu finden, dass bei dem Kalkaneus, dessen Gestalt und Belastungsverhältnisse als Beispiel gewählt wurden, die Spongiosa, welche seine Masse bildet, sich, wie man auf einem Längendurchschnitt sehen kann, in drei Systeme von Blättchen zerlegen lässt, welche in der Hauptsache nach dem oben angegebenen Schema angeordnet sind. Zwei dieser Systeme gehen nämlich von der Belastungsfläche aus und sind gerichtet das eine gegen die Berührungsfläche des Fersenhöckers mit dem Boden und das andere gegen die Berührungsfläche des *processus anterior calcanei* mit dem *os cuboides*, welches in statischer Beziehung die vordere Fortsetzung des Kalkaneus gegen den Boden hin bildet. Das dritte System von Blättchen geht aus dem Fersenhöcker zu der Berührungsfläche mit dem *os cuboides;* die Blättchen gehen direkt und ungetheilt von dem einen dieser Punkte zu dem andern, jedoch

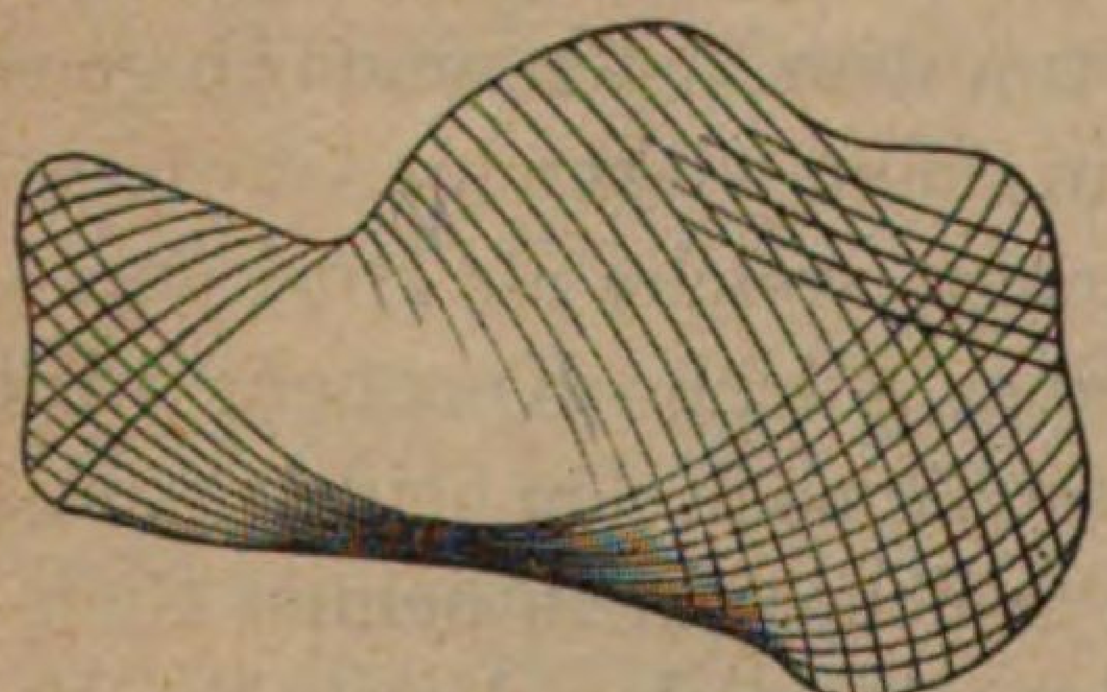


Fig. 18.

Fig. 18. — Kurven der Spongiosa in dem menschlichen Kalkaneus

so, dass sie in der Mitte sich gegen die untere Fläche des Kalkaneus dicht zusammendrängen, in den beiden Endtheilen jedoch gegen oben divergent aus einander geblättert sind. Der Vergleich lässt leicht in den erstgenannten beiden Systemen die Sparren erkennen, welche den Druck der Körperschwere aufnehmen, — und in dem dritten Systeme das Streckband, welches den Horizontalschub hemmt und zugleich den Gegendruck des Bodens direkt aufnimmt. Die beiden ersten Systeme widerstehen der Kompression, das dritte der Dehnung, und alle drei sind in der Richtung der »Druck- und Zugkurven« angelegt, welche die graphische Statik zur Bezeichnung der Widerstandsrichtungen in den Durchschnitt des Kalkaneus hineinzeichnen würde. — Die eben erwähnte Doktrin kann natürlich nicht eine ganze Durchschnittszeichnung mit solchen Kurven wie mit einer Schraffirung bedecken, und zieht es deswegen im Interesse der Deutlichkeit vor, nur vereinzelte von einander beliebig abstehende Kurven zu zeichnen, zwischen welchen dann für die richtige Auffassung der Darstellung eine beliebige Zahl von Kurven zu ergänzen sind. Durch diese aus Opportunitätsrücksichten gebotene Methode der Zeichnung gibt sie aber auch zugleich eine Skizze dafür, wie Blätter- oder Stäbchensysteme angeordnet sein müssten, welche bestimmt sein sollten, die massive Substanz (allerdings mit geringerer Leistungsfähigkeit wegen geringerer Masse) in möglichst günstiger Weise zu ersetzen. Wenn man nun die Blättchensysteme ganz übereinstimmend mit solchen Skizzen angeordnet findet, so kann man in ihnen gewissermassen Verkörperungen oder Ausführungen jener Skizzen erkennen, und muss sich überzeugen, dass eine günstigere Anordnung von möglichst wenig Knochensubstanz mit möglichst grosser Leistungsfähigkeit nicht gegeben sein kann.

Die Betrachtung des Durchschnittes des Kalkaneus gibt aber auch noch weitere Belehrung über die Anordnungsverhältnisse der Knochensubstanz.

Für's Erste findet man nämlich, dass an der Stelle, welche oben als neutraler dreieckiger Raum zwischen den Sparren und dem Streckband bezeichnet wurde, die Spongiosa gänzlich fehlt, oder nur in Gestalt von spinnengewebeartigen feinen Fäden erscheint, welche eine weitere mechanische Bedeutung nicht haben können, als dass sie etwa das Mark stützen. An derselben Stelle würde auch die Mechanik keine oder nur ganz vereinzelte und zerstreute Kurven gezeichnet haben, weil es eine Stelle ist, welche eine nennenswerthe Belastung durch Druck- oder Zugwirkung nicht erfährt. Wenn man nun an einer solchen Stelle keine Spongiosa und überhaupt keine Knochenmasse findet, so ist damit die wichtige Belehrung gegeben, dass nicht nur die vorhandene Spongiosa leistungsfähig angeordnet ist, sondern dass sie auch überhaupt nur da vorhanden ist,

wo Leistungsansprüche an sie gemacht werden. Die grösseren Lücken in den Knochen erscheinen demnach nur als eine Abwesenheit von Knochensubstanz da, wo keine gebraucht wird.

Ferner findet man auch, wenn man den unteren als Streckband wirkenden Blättchenzug untersucht, dass derselbe in seiner Mitte an der unteren Oberfläche des Kalkaneus stark zusammengedrängt ist. Die auf einander gedrängten Blättchen bilden dann an dieser Stelle eine kompakte Häufung von Knochensubstanz, in welcher man sogleich diejenige Form der Anordnung der Knochensubstanz erkennt, welche man als *substantia dura* zu bezeichnen pflegt. — Durch dieses Bild erhält man dann die wichtige Belehrung, dass die *substantia dura* sich überall da findet, wo die Belastungskurven sehr koncentrirt verlaufen. — Genauere Analyse der grossen Röhrenknochen (Femur, Tibia) zeigt auch, dass in ihnen die Belastungskurven in den Gelenkenden divergent zerstreut sind in einer Art, wie sie der besonderen Bedeutung des Gelenkendes angemessen ist, — dass sie aber in dem Mittelstücke sich gegen die Oberfläche hin koncentriren; darum bestehen auch diese Knochen aus spongiosen Gelenkenden und einem röhrenförmigen aus *substantia dura* gebildeten Mittelstücke.

Anmerkung. Genauere Durchführung dieser Sätze für alle Knochen der unteren Extremität, soweit sie hier in Betracht kommen können, findet sich in meinem Aufsatze: Die Architektur der Spongiosa. REICHERT's und DÜBOIS-REYMOND's Archiv 1867. S. 615—628. — Ich benutze diese Gelegenheit gern, anzuerkennen, dass JULIUS WOLFF's Tadel meiner zu diesem Aufsatze gehörigen Darstellungen der Kurven in dem Oberschenkelkopfe (Centralblatt 1869. No. 54) gerechtfertigt ist. In jener Zeichnung ist allerdings das von unter dem Trochanter her in den Kopf absteigende Kurvensystem in seinem in dem Kopfe selbst gelegenen Theile zu sehr gedrückt und die von ihm gebildeten Maschen werden dadurch etwas unrichtig, indem sie zu rhombisch erscheinen. Da die Architektur des Femurkopfes und Femurhalses die besprochenen Verhältnisse ebenfalls sehr schön zeigt, füge ich nebenstehend eine Zeichnung derselben bei.

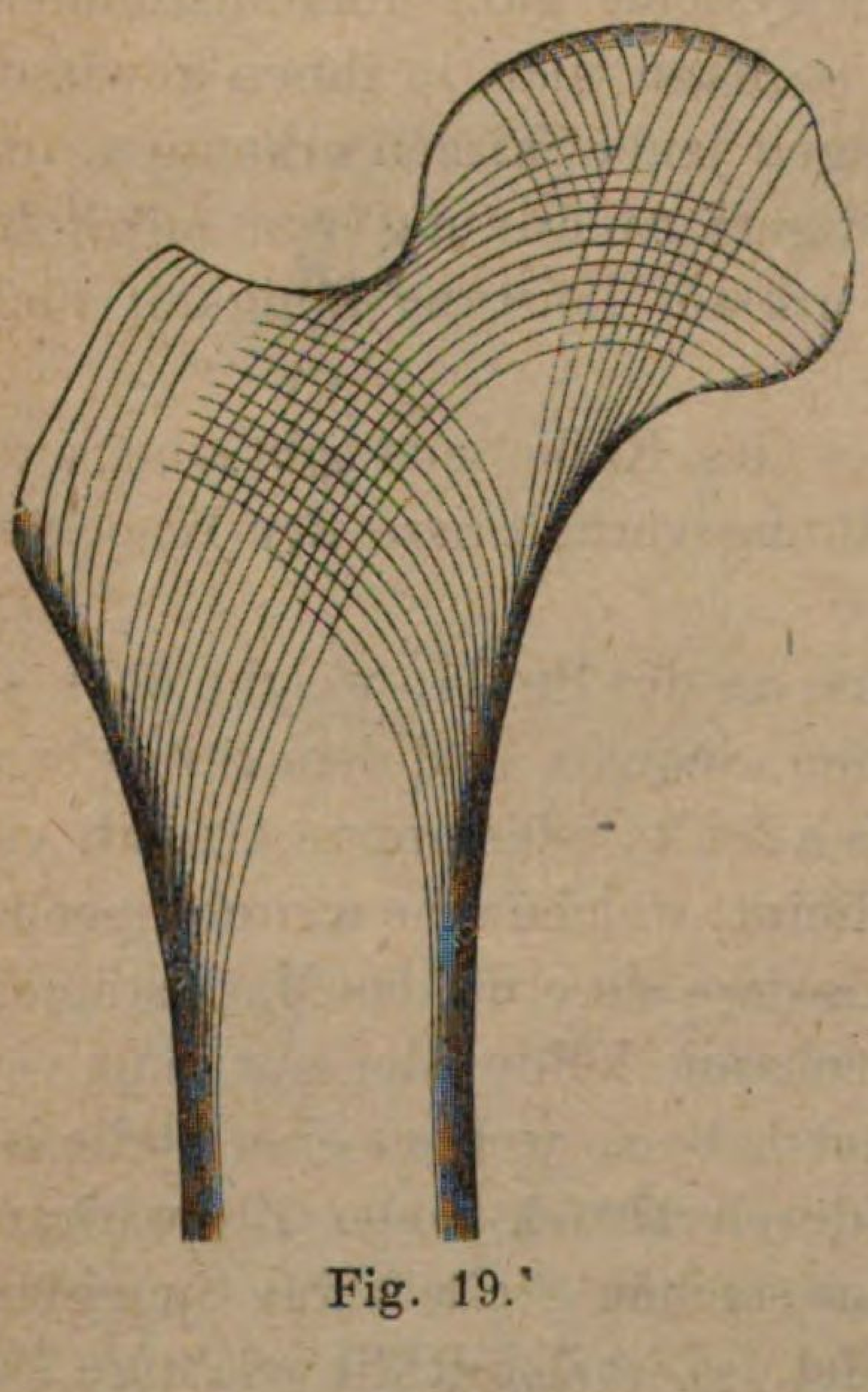

Fig. 19.

Fig. 19. — Kurven der Spongiosa in dem oberen Gelenkende des menschlichen Femur.

Die gegebene Darstellung des gegenseitigen Verhältnisses zwischen *substantia spongiosa, substantia dura* und grösseren Markräumen nöthigt zu einer ganz anderen Auffassung von dem Aufbau des einzelnen Knochens, als diejenige ist, welche davon geläufig ist, — namentlich wenn man noch mit in Berücksichtigung zieht, was früher gezeigt worden ist, dass der Durchmesser des Knochens massgebender für seine Widerstandsfähigkeit ist, als die Menge seiner Substanz.

Der Knochen erscheint jetzt als ein Gebilde, welches mit möglichst wenig Aufwand an Material möglichst widerstandsfähig konstruirt ist, und zwar 1. indem das Material so aus einander gerückt ist, dass es ein grösseres Volumen einnimmt, als dieses im kompakten Zustande der Fall sein würde, und 2. indem die einzelnen Spaltungselemente (Plättchen, Stäbchen) so angeordnet sind, dass sie mit ihrer Längenrichtung in den Richtungen des stärksten Druckes oder Zuges liegen und somit in günstigster Weise ihre Widerstandsfähigkeit zur Geltung bringen können. Die zerblätterte Spongiosa erscheint deshalb als die primäre, typische Anordnung der Knochensubstanz und die Dura nur als eine accidentelle Modifikation der Spongiosa bedingt durch lokale Koncentration der Widerstandskurven.

Anmerkung: Vgl. I. 10, wo die bezeichneten Kurven in schematischer Weise in die Knochenumrisse eingezeichnet sind.

J. Wolff, welcher in dem oben erwähnten Aufsatze und namentlich in einem grösseren (Ueber die innere Architektur der Knochen und ihre Bedeutung für die Frage vom Knochenwachsthum. Virchow's Archiv Bd. L) die Beziehungen der oben mitgetheilten Thatsachen zu seiner Lehre von dem Knochenwachsthum bespricht, gibt in dem einleitenden Referate über meine oben angeführte Arbeit zugleich eine populäre Darstellung der Lehre von den Druck- und Zugkurven der Mechaniker. Zugleich gibt er sehr schöne photographische Abbildungen der beschriebenen Verhältnisse der Spongiosa, deren Herstellung ihm dadurch möglich war, dass er in einer Berliner Fächerfabrik mit Hülfe einer für Elfenbein bestimmten Fourniersäge sehr dünne Durchschnitte durch spongiose Knochen konnte darstellen lassen. — Seinen Tadel gegen mich, dass ich mir eine wichtige Unterlassung dadurch hätte zu Schulden kommen lassen, dass ich meinem Aufsatze eine Auseinandersetzung der Theorie der Druck- und Zugkurven nicht beigefügt habe, kann ich indessen nicht annehmen. — Indem ich die Parallele zwischen der Richtung der Spongiosaplättchen und jenen Kurven anführte und genauer motivirte, hatte ich Alles gethan, was nöthig war, um die mechanische und statische Bedeutung der inneren Anordnung der Spongiosa zu kennzeichnen. Eine Entwickelung der von den Mechanikern aufgestellten Theorie jener Kurven war dazu ebenso wenig nothwendig, als es bei dem Gebrauch einer trigonometrischen Formel nothwendig ist, vorher noch den Begriff eines Sinus zu entwickeln.

Von besonderem Interesse ist es, dass auch in der neugebildeten Knochenmasse bei Ankylosen und krumm geheilten Frakturen sich solche regel-

rechte Plättchensysteme aufbauen. (KÖSTER, Verhandlungen der physikalisch-medicinischen Gesellschaft in Würzburg, 15. Juni 1872 — und MARTINI, Centralblatt für die medicin. Wissenschaften. 1872. No. 37.)

3. Der kranke und der unentwickelte Knochen.

Das gegebene Bild des Knochens, wie es von dem entwickelten normalen Knochen in dem Vorhergehenden entworfen wurde, findet nicht unbeträchtliche Modifikationen dann, wenn der Knochen erkrankt oder noch nicht vollständig entwickelt ist.

Die Frage kann hierbei vollkommen unberührt bleiben, ob das Knochengewebe erkranken könne oder nicht, d. h. ob die histologischen Elemente des Knochens (die Knochenzellen) trotz ihrer Verkalkung doch noch so viel Vitalität behalten können, dass sie im Stande sind, solche Metamorphosen einzugehen, welche als die histologische Grundlage primärer Gewebekrankheiten erkannt sind, — oder ob die sogenannten Knochenkrankheiten nicht viel mehr sekundäre Affektionen des Knochengewebes sind, in Folge von primärer Affektion der zu dem Knochen gehörigen Weichgebilde, insbesondere des Periostes und der Markhaut. — Ich habe bei früherer Gelegenheit[1]) geglaubt, mich in dem letzteren Sinne aussprechen zu müssen, und finde auch heute noch, dass die Erscheinungsweise der verschiedenen Knochenkrankheiten sich auf diese Weise ganz genügend erklären lassen[2]). Ich will deshalb an diesem Orte bei der bezeichneten Auffassung bleiben, und fühle mich um so mehr hierzu aufgefordert, als die Beobachtungen, welche auf die Möglichkeit einer selbständigen Erkrankung des Knochengewebes hinweisen, noch genauerer Erforschung zu bedürfen scheinen, so sehr sie auch durch die interessanten Versuche von JULIUS WOLFF[3]) unterstützt werden, welche nachweisen, dass an dem Wachsthume der Knochen sich auch ein »interstitielles Wachsthum« wesentlich betheiligt, dass also auch in dem fertig gebildeten Knochengewebe noch Wandelungen der Elementartheile vorkommen können. Weisen WOLFF's Versuche auch nur zunächst auf die quantitative Wandlung der Grössenzunahme hin, so geben sie doch auch zugleich einen Blick auf die Möglichkeit qualitativer Wandelungen,

1) III. 4.

2) Wesentlich unterstützt wird diese Ansicht durch die namentlich von KÖLLIKER durchgeführte Untersuchung über die Bedeutung der von ihm sogenannten Ostoklasten (Osteoklasten?) für die Resorption des Knochengewebes. (Verh. d. Würzburger phys.-med. Gesellschaft. N. F. Bd. II. u. III.)

3) Ueber Knochenwachsthum. Vorläufige Mittheilung. — Berliner klinische Wochenschrift No. 6. 7. 10. 14.

welche dann als primäre Erkrankungen des Knochengewebes in die Erscheinung treten müssen.

Von den Knochenkrankheiten sind es natürlich nicht die mit vermehrter Festigkeit der Knochen einhergehenden, welche für die statischen und mechanischen Verhältnisse des Knochengerüstes wichtig werden; denn da die Knochen im Allgemeinen für ihre Funktion an ihre Festigkeit angewiesen sind, so wird eine Vermehrung der Festigkeit nicht leicht eine Störung veranlassen können.

Von entschiedener Wichtigkeit werden daher nur diejenigen Knochenkrankheiten, mit welchen eine bemerkenswerthe Abnahme der Festigkeit verbunden ist. Als solche erscheinen aber alle solche, welche mit einer Rarefaktion des Knochengewebes verbunden sind. Es ist eine unverkennbare Thatsache, dass das ausgebildete und vorhandene Knochengewebe wieder aufgelöst werden und verschwinden kann. Man sieht diesen Prozess in unmerklicherer Weise vor sich gehen während der Entwickelung der Knochen, in dem Schwinden der *substantia dura* unter einem Callus oder einer Exostose, in der senilen excentrischen Atrophie (Marasmus) der Knochen etc. Im letzteren Falle ist bereits eine Andeutung an pathologische Verhältnisse gegeben, indem durch den Marasmus die Resistenzfähigkeit der Knochen vermindert wird.

Unter sichtbareren Erscheinungen und deshalb mehr in der Form von »Krankheit« tritt die Rarefaktion des Knochengewebes auf in der Karies, der Osteoporose und der Osteomalacie.

In der Karies findet eine Zerstörung des Knochengewebes und damit eine Rarefaktion der einen gewissen Knochen konstituirenden Menge von Knochengewebe statt unter dem Einflusse einer Eiterproduction, als deren primäre Quelle man das Periost, seltener die Markhaut, für Gelenkenden auch die Synorialmembran, erkennt. — Sie ist also die Folge einer suppurativen Periostitis oder Perimyelitis. — An spongiosen Knochen werden dabei die dünnen Rindenschichten und die Lamellensysteme zerstört und zwar zuerst verdünnt und dann gänzlich aufgelöst; Stücke oder Stückchen von etwas grösserem Durchmesser widerstehen der Auflösung länger und liegen deshalb als »Sequester« oder »nekrotisirte Stücke« frei in der Eiterflüssigkeit. Solche Sequester können die Grösse unbedeutender Splitter besitzen, welche dann einen Bestandtheil des kariosen Eiters bilden, oder sie können grössere Stücke sein, welche häufig vor ihrer vollständigen Ablösung noch längere Zeit an vereinzelten Stellen mit den übrigen Theilen des Knochens in Kontinuität bleiben. Tritt dieser Prozess an einem Knochentheile auf, welcher durch kompakteres Knochengewebe (*substantia dura*) ausgezeichnet ist, dann bleiben grössere und festere Stücke dieser Art liegen und man benutzt diesen

Umstand dafür, den Krankheitsprozess als »Nekrose« besonders zu benennen, und den Ausdruck »Karies« auf die Form des Prozesses zu beschränken, welche sich an spongiosen Knochen oder Knochentheilen zu zeigen pflegt. — Die Erscheinungen, welche bei der »Nekrose« beobachtet werden, scheinen indessen dafür zu sprechen, dass die Zerstörung der Knochensubstanz mehr durch die Bildung der Granulationen, als durch die Umspülung mit Eiter zu Stande gebracht wird; dafür spricht wenigstens die Erscheinung der »Demarkationslinie« an der Stelle, an welcher sich die Schichte der Granulationen an die Knochenoberfläche anschliesst. — Welches aber auch die Ursache der Zerstörung sein mag, so ist es sicher, dass ein karioser Knochen seine Resistenzfähigkeit verliert und um so mehr verliert, je weiter der Prozess vorwärts geschritten ist. Ist ein ganzes Knochenstück vollständig zerstört, so fehlt dasselbe für den Mechanismus des Theiles, welchem es angehört, und die Folgen dieses Fehlens treten unmittelbar ein, z. B. das Zusammensinken der Wirbelsäule (Pott'scher Buckel) nach karioser Zerstörung eines oder mehrerer Wirbelkörper. — Bei der »Nekrose« an dem Mittelstücke von Röhrenknochen wird übrigens durch die gewöhnlich vorhandene »Knochenlade« ein mehr als genügender Ersatz gewährt.

Die Osteoporose tritt ebenfalls unter der Form der Periostitis auf; indessen findet sich bei dieser nicht ein eiteriges Produkt. Welcher Art das Produkt sei, welches hier die Zerstörung bewerkstelligt, ist nicht genauer anzugeben. Es ist nur zu erkennen, dass die Knochensubstanz von allen angreifbaren Oberflächen aus korrodirt wird. Die Gefässkanäle, die Knochenhöhlen (Knochenkörperchen) und deren Ausläufer werden daher weiter und die ganze Knochensubstanz wird damit poroser, namentlich tritt dieses alsdann in der sogenannten *substantia dura* in auffallenderer Weise in die Erscheinung. Dass eine solche Porosität die Resistenzfähigkeit bedeutend vermindern muss, ist unzweifelhaft. — Besonders auffallend wird dieser Mangel an Resistenzfähigkeit in den höchsten Formen der Osteoporose, welche deshalb auch unter dem Namen »Osteomalacie« beschrieben zu werden pflegen. — Für die Zwecke, welche hier zu verfolgen sind, erscheint es gleichgültig, ob man diese Auffassung der Osteomalacie annehmen will, oder ob man in derselben gleichzeitig eine wirkliche Erweichung der Knochensubstanz erblicken will, d. h. eine Entziehung der Kalksalze mit Zurücklassung der organischen Grundlage. — Was hier von Interesse ist, ist die fast vollständige Resistenzlosigkeit osteomalacischer Knochen, welche sich natürlich zuerst an spongiosen, dann erst an den Mittelstücken der Röhrenknochen zu äussern pflegt. — Ebenso ist es natürlich, dass die Folgen dieses Prozesses durch Verschwinden von Knochensubstanz bei dem Mittelstücke am stärksten in der sonst schon poroseren inneren Schichte der *substantia*

dura auftreten müssen und dass deswegen das Lumen der Markhöhle der Röhrenknochen vergrössert wird.

Bei derjenigen Form der Osteoporose, welche als »Osteoporose mit Auftreibung« bezeichnet wird, findet nicht eine Auftreibung der vorhandenen Knochenmasse statt, sondern eine äussere osteophytische Auflagerung aus dem Perioste, welche dann durch ihre Masse und durch den vermehrten Durchmesser des Knochens einen Ersatz für die Verminderung der Resistenzfähigkeit zu gewähren vermag.

Den eben besprochenen Processen ist die senile excentrische Atrophie der Knochen (Marasmus) sehr nahe verwandt; nur pflegt diese nicht so hohe Grade zu erreichen, wie die Osteoporose, und äussert sich deshalb vorzugsweise nur in leichterer Brüchigkeit äusseren Gewalten gegenüber.

Etwas andere Verhältnisse bieten sich bei dem noch nicht ausgewachsenen Knochen, namentlich in den ersten Lebensjahren. Bei diesem ist bekanntlich nur das Mittelstück fest und relativ ausgebildet, wenn es auch namentlich in den ersten Lebensjahren die kompakte *substantia dura* noch nicht besitzt, welche den ausgebildeten Knochen auszeichnet. Die Gelenkenden sind anfangs noch ganz aus Knorpelsubstanz gebildet, und auch zur Zeit, wenn die Ausbildung beinahe vollendet ist, findet sich noch eine trennende Knorpelschicht zwischen Epiphyse und Diaphyse. Dieses Verhältniss bringt mehr elastisches Element in die Zusammensetzung des Knochens und es wird insbesondere die beträchtliche Kompressionselasticität des Knorpels von Bedeutung werden. Da die Gelenkstücke nie sehr lang sind, sondern immer eine rundliche Gestalt besitzen, so wird die relative Festigkeit des Knochengewebes nicht stark in Anspruch genommen werden können und deshalb auch keine Wichtigkeit erlangen. Dagegen ist allerdings zu beachten, dass diejenige Schichte des Knorpels, welche an dem Verknöcherungsrande zunächst anliegt, durch ihr starkes Wachsthum mit lebhafter Zellenbildung auf Kosten der Zwischensubstanz sehr weich und succulent ist und deshalb eine Stelle des Knochens darstellt, welche eine geringere relative Festigkeit bietet; indessen kommt doch, weil diese Stelle dem Ende des Knochens sehr nahe ist, dieser Umstand weniger in Betracht, als wenn etwa in der Mitte des Knochens eine solche Stelle wäre. — Die Eigenthümlichkeiten des wachsenden Knochens sind daher nicht der Art, dass sie seine Gebrauchsfähigkeit wesentlich beeinflussen können. Es ist nur noch darauf aufmerksam zu machen, dass der wachsende Knochen auch in seinem Mittelstücke durch äussere Gewalt weniger leicht gebrochen wird, weil er nicht die harte und kompakte *substantia dura* des ausgebildeten Knochens besitzt und saftreicher ist; unter Verhältnissen, welche

einen ausgebildeten Knochen zerbrechen würden, wird der wachsende häufig nur eingeknickt.

Die Verhältnisse, welche der wachsende Knochen bietet, bedingen dagegen in dem Falle, dass eine Periostitis den Knochen befällt, ein eigenthümliches Bild, welches von dem Bilde einer Periostitis des erwachsenen Knochens in vielen Punkten abweicht. — Die Erscheinungen, welche hier wahrgenommen werden, geben nämlich das Bild der **Rachitis**, zu welchem Bilde dann freilich noch gehört, dass die Periostitis eine mehr oder weniger allgemeine in dem Körper ist. — Welche Gründe mich veranlassen, die Rachitis als eine Periostitis des wachsenden Knochens aufzufassen, habe ich an einem anderen Orte [1]) bereits ausgeführt. Ich kann mich deswegen hier nur darauf berufen. — Die Frage, welche sich uns hier aufdrängt, ist nur die, welche Strukturveränderungen, die für die Funktion der Knochen von Wichtigkeit werden, bei der Rachitis zu finden sind. Diese Veränderungen sind aber namentlich an zwei Orten wahrzunehmen. Für's Erste zeigt sich die der Verknöcherung entgegenwachsende Knorpelschicht grösser, weil der fortschreitenden Veränderung in dem Knorpel die Verknöcherung nicht so rasch nachrückt; dagegen schreitet aber die Markraumbildung, welche der Verknöcherung unmittelbar zu folgen hat, gerade so vorwärts, als ob die Verknöcherung zu richtiger Zeit und am richtigen Orte geschehen wäre. Jene gewachsene Knorpelschicht ist daher nicht nur überhaupt sehr hoch, sondern sie ist auch noch durch die in sie eingedrungene Markraumbildung zum Theil zu einem weichen schwammigen Gefüge geworden, welches nur äusserst wenig Resistenzfähigkeit besitzt. Die Folge eines solchen Verhaltens ist aber die, dass bei einem Drucke in der Richtung der Knochenaxe diese Schicht so breit gedrückt wird, dass sie seitlich zwischen Epiphyse und Diaphyse hervorquillt und dadurch das Dickerwerden der Gelenkenden bedingt; sehr charakteristisch ist dieses zu sehen an der Grenze zwischen Rippenknochen und Rippenknorpeln bei rachitischen Kindern, an welcher Stelle Anschwellungen erscheinen, die eine fast kugelige Gestalt haben können, und als eine Reihe von Knoten durch die Haut hindurch gefühlt und gesehen werden können.

Bei einem seitlich wirkenden Drucke entstehen aus dem gleichen Grunde bei rachitischen Knochen sehr leicht seitliche Verschiebungen zwischen Diaphyse und Epiphyse und daher rührende bleibende Missgestaltungen der Knochen; am Bemerklichsten tritt diese Erscheinung auf an dem *caput femoris* und an den Wirbelkörpern; an dem ersteren Orte bedingt sie eine sehr horizontale Entwickelung des *collum femoris* und an dem letzteren Orte ist sie ein Hauptmoment für Entstehung der

1) III. 2. — III. 4. — III. 8.

rachitischen Skoliose; — bei einer früheren Gelegenheit [1]) habe ich nach einem Präparate eine solche Verschiebung an dem unteren Ende der Tibia abgebildet.

An dem Mittelstücke sind die Erscheinungen sehr verschiedenartige, je nachdem die Produkte der Periostitis verschieden sind. Sind diese, wie es der Fall sein kann, festere Knochenmassen, so ist die Festigkeit des Mittelstückes vermehrt oder wenigstens nicht vermindert, wenn auch die Korrosion in der Markhöhle ihren Gang geht oder vielleicht auch wegen der vermehrten Auflagerung beschleunigt ist. Ist dagegen, wie sehr häufig, die periostitische Auflagerung ein zartes schwammiges Knochengewebe oder nur massenhafte Anbildung einer schwammigen Knorpelsubstanz, dann wird, wenn die Markhöhlenbildung vorwärts schreitet und dadurch die noch vorhandene gute *substantia dura* allmälig beseitigt wird, dem Knochen seine Resistenzfähigkeit genommen und er ist dann sehr leicht Einknickungen ausgesetzt, welche bleibende Missgestaltungen (sehr häufig z. B. des Femur) zur Folge haben können. An dem angeführten Orte [2]) habe ich nach einem Präparate eine solche Einknickung an dem Humerus abgebildet. — In ihren höchsten Graden kann diese Form ganz den Charakter einer Osteomalacie annehmen und auch die gleichen Folgen, wie diese, für Missgestaltungen der Knochen haben. Es kann z. B. durch Rachitis eine Beckenform hervorgebracht werden, welche ganz dieselbe ist, wie sie als charakteristisch für das osteomalacische Becken angesehen wird [3]). Die sogenannte rachitische Form des Beckens beruht dagegen nur auf Verschiebungen oben bezeichneter Art zwischen den in der Entwickelung noch getrennten Theilen der Beckenknochen und des Kreuzbeines.

1) II. 2.
2) II. 2.
3) s. II. 2.

Die Elemente des Knochengerüstes und deren Vereinigungsweise.

Das Knochengerüste wird aus einer gewissen Anzahl einzelner Knochenstücke zusammengesetzt, deren jedes durch eine eigenthümliche Gestalt ausgezeichnet ist, welche unbezweifelt in engster Verbindung steht mit der mechanischen Bedeutung, die das betreffende Knochenstück in dem Organismus gewinnt.

In dem Bestreben, diese verschiedenen Knochen übersichtlich in Gruppen zusammenzufassen, ist man von zwei verschiedenen Standpunkten ausgegangen.

Man hat nämlich für's Erste, den Aufbau des ganzen Knochengerüstes in's Auge fassend, unterschieden:

Wirbelbildung,
Rippenbildung,
Extremitätenbildung.

So richtig auch die Grundsätze sind, nach welchen diese Eintheilung aufgestellt ist, und so brauchbar sie auch in vielfacher Beziehung ist, so geht sie doch weniger auf die Gestalten und mechanischen Beziehungen der einzelnen Knochenstücke ein und ist deshalb weniger geeignet, die mechanische Bedeutung des einzelnen Stückes hervorzuheben. Indessen gibt sie doch sehr geeignete Anhaltspunkte für die Auffassung der Genese des Knochengerüstes in der Thierreihe und wird deshalb auch der Ausgangspunkt für die Untersuchungen des nächsten Abschnittes sein.

Die zweite Eintheilungsweise geht von der individuellen Gestaltung des einzelnen Knochens aus und stellt gewisse Grundformen der Knochengestaltung auf, nämlich:

flache Knochen,
lange Knochen,
kurze Knochen.

Mit scheinbarer Genauigkeit gibt man dann die Definition von diesen drei Formen mit der mathematischen Bezeichnung des gegenseitigen Grössenverhältnisses der drei Axen. Nach diesen Definitionen (eine Axe vorherrschend, — zwei Axen vorherrschend, — die drei Axen annähernd

gleich) sollte man glauben, dass alle nur möglichen Gestalten in dieses Fachwerk passen müssten; indessen beweist doch die Nothwendigkeit, noch eine vierte Abtheilung »*ossa mixta*« aufstellen zu müssen, dass diese Eintheilung keineswegs erschöpfend ist. — Wäre sie aber auch erschöpfend, so wäre damit doch noch nicht viel gewonnen, denn jene mathematische Definition gibt noch keine funktionelle Charakteristik, und, würde sie streng durchgeführt, so würde sie sogar Zusammengehöriges in unpassender Weise trennen; die zweite Phalanx der kleineren Zehen gehörte ja dann z. B. zu den kurzen Knochen und die erste Phalanx zu den langen.

Etwas Richtiges ist aber doch in dieser Eintheilung gefühlt, und man kommt deshalb von dem Standpunkte der funktionellen Charakteristik wesentlich auf die gleiche Eintheilung; aus diesem Grunde kann man denn auch füglich die oben bezeichneten Namen der Klassen, jedoch mit veränderter Definition und daher etwas veränderter Begrenzung beibehalten. Danach wäre dann folgende Charakteristik aufzustellen:

1) der flache Knochen ist eine einhüllende Knochenlamelle, welche auch, wie an den Wirbelbogen, in Gestalt der gegliederten Platte vorkommen kann. Bei dem Schulterblatte tritt jedoch dieser Charakter nicht deutlich hervor und die flächenhafte Ausdehnung dieses Knochens scheint mehr zu der Anordnungsweise der Muskeln in Beziehung zu stehen;

2) der lange Knochen ist ein solcher, welcher als Wurfhebel bewegt wird, d. h. mit einem verhältnissmässig kurzen Hebelarm der Muskelkraft gegenüber dem Hebelarme der bewegten Last;

3) der kurze Knochen kommt nur vor als Theil einer Knochenkombination (Wirbelsäule, Handwurzel, Fusswurzel); für sich allein hat er keine Bedeutung, wenn er auch etwa, wie z. B. der Astragalus eine sehr wichtige Rolle in der Kombination selbst spielen kann.

Wie in ihrem Vorkommen und in ihrer Verwendung, so sind die genannten Kategorien auch durch die Verbindungsweise gekennzeichnet, welche sie in der Regel besitzen.

Die flachen Knochen zeigen die verschiedenen Formen der Nahtverbindung oder sind auch etwa, wie die Wirbelbogen in ihren *processus obliqui* durch Amphiarthrose verbunden;

die langen Knochen sind an den Endpunkten ihrer Längenaxe durch Gelenke von grösserer Winkelbewegung mit anderen Knochen verbunden;

die kurzen Knochen sind unter einander vereinigt durch Symphysen oder durch Amphiarthrosen in Verbindung mit Syndesmosen.

Mit dem der älteren Terminologie entnommenen Ausdrucke »Syndesmose« soll diejenige Verbindungsweise gemeint sein, welche, wie es namentlich an der Hand- und der Fusswurzel beobachtet wird, durch sogenannte *ligamenta interossea* unter grösserer oder geringerer Betheiligung einer Amphiarthrose zu Stande kommt. Diese Verbindungsweise hat viel Verwandtes mit der Symphyse durch die flächenhafte Vereinigung zweier Knochen mittels kurzer Bandfasern; die Hauptverschiedenheit beruht nur darin, dass in der Syndesmose die Bandmasse mehr in vereinzelten rundlichen Bündeln gefunden wird, während sie in der Symphyse in der Gestalt des »fibrosen Knorpels« früherer Terminologie erscheint.

Wenn mit dem Ausgesprochenen zwar indirekt schon das allgemeine Vertheilungsgesetz der beiden Hauptformen der Knochenverbindungen hingestellt ist, so lässt sich dieses doch besser und richtiger geben, wenn man dabei von der Verbindungsweise selbst ausgeht. Dann gestaltet sich nämlich das Vertheilungsgesetz in folgender Weise:

- die Symphyse findet sich nur in der Grundlage des Rumpfknochengerüstes, nämlich in dem Becken und der Wirbelkörperreihe; sie gibt hier Festigkeit ohne Starrheit;
- alle anderen Verbindungen sind Gelenkverbindungen der Art,
 - dass die als Wurfhebel wirkenden »langen« Knochen die freieren Gelenkformen besitzen,
 - während die Knochenkombinationen an Hand und Fuss auf Amphiarthrosen und Syndesmosen angewiesen sind, und auch die durch die Wirbelbogenreihe gegebene eine gegliederte Platte darstellende Kombination eine ähnliche Verbindung erkennen lässt in den Amphiarthrosen der *processus obliqui* und den elastischen Syndesmosen, welche durch die *ligamenta intercruralia* gebildet werden.

In dem Obigen wurde zwar bereits der funktionellen Stellung der Knochen gedacht, dieser Gegenstand ist indessen noch etwas genauer zu besprechen, indem aus den oben besprochenen allgemeineren Andeutungen noch einige wichtige Sätze abzuleiten sind.

Es lässt sich nämlich leicht überblicken, dass die Knochen sämmtlich gruppenweise zu Apparaten von bestimmter Bedeutung unter einander verbunden sind. Der Unterschied in der Bedeutung dieser Apparate ist hauptsächlich der, dass die eine Klasse von Apparaten mehr eine mechanische Bedeutung hat, d. h. durch ihre Bewegungsform von funktionellem Interesse wird, — während die andere Klasse mehr eine statische Bedeutung hat, d. h. in ihrem Ruhezustand funktio-

nell wichtig wird. Beide Klassen lassen sich natürlich nur im Prinzip genauer scheiden, in Wirklichkeit ist wohl nicht eine derselben als vollständig rein hingestellt anzusehen; deshalb musste auch ihre so eben gegebene Charakteristik etwas unbestimmt gegeben werden; indessen ist es doch möglich, die am Bestimmtesten dastehenden Typen im Interesse der Erläuterung zu bezeichnen. — Man kann nämlich den Apparat, welcher als »obere Extremität« benannt wird, als die erste Klasse charakterisirend hinstellen, indem die Verwendung, welche dieser Apparat gestattet, sich vorzugsweise auf die Beweglichkeit seiner einzelnen Theile gegeneinander stützt; — als bezeichnend für den Charakter der zweiten Klasse kann der Fuss genannt werden, welcher als tragendes Gewölbe nur dienen kann, wenn seine einzelnen Theilstücke gegen einander festgestellt sind und er dadurch zu einem widerstandsfähigen einheitlichen Ganzen geworden ist. — Der Arm ist unbrauchbares Glied des Körpers, wenn das Ellenbogengelenk steif und unbeweglich ist; der Fuss kann dagegen in sich selbst vollständig unbeweglich sein, ohne dass deswegen seine Bedeutung beim Stehen wesentlich leiden würde.

Uebrigens ist doch gerade der Fuss besonders geeignet, über das gegenseitige Verhältniss der beiden Klassen Belehrung zu geben. Der frei schwebende Fuss besitzt bekanntlich in sich eine nicht unbedeutende Beweglichkeit, wobei sich fast alle Theile desselben gegen einander in verschiedener Weise verschieben können. Er ist deshalb ja sogar geeignet, in aussergewöhnlichen Fällen als Surrogat der Hand angewendet zu werden. Er kann aus diesem Grunde angesehen werden als ein Apparat, welcher ähnlich wie der Arm durch seine bewegliche Gliederung funktionelle Bedeutung besitzt, welcher aber seine wichtigste und Hauptbedeutung, die statische, erst gewinnt, wenn die Beweglichkeit zwischen den einzelnen Theilen aufgehoben ist.

Für solche Apparate, bei welchen die Bedeutung des einzelnen Bestandtheiles mehr in den Hintergrund tritt und die Funktion mehr auf die Gesammtheit der Bestandtheile angewiesen ist, haben wir in Früherem die Bezeichnung »Knochenkombination« gewählt und zugleich erkannt, dass die Bestandtheile einer solchen vorzugsweise durch kurze Knochen dargestellt werden. Die gegenseitige Feststellung dieser Elemente geschieht, wie in der Einleitung bereits, um die statische Bedeutung der Bänder ins Licht zu stellen, weiter ausgeführt wurde, durch Hemmung weiterer Bewegung und zwar mit Hülfe gespannter Bänder.

In den Gelenkverbindungen zwischen anderen Knochen finden sich aber auch als allgemein verbreitete Anordnung überall Bänder, welche in einem gewissen Stadium der Bewegung sich der Fortsetzung der Bewegung durch ihre Spannung entgegenstellen müssen. So lange nach Eintritt der Hemmung diejenige Gewalt noch fortwirkt, welche die Bänder-

spannung zu Stande gebracht hat, bleiben dann die beiden Knochen in dem Gelenke unbeweglich verbunden und müssen als Ganzes wirken. — Sie treten dadurch in den Charakter einer Kombination in dem oben angegeben Sinne, unterscheiden sich aber dadurch von den dort als typisch aufgestellten Kombinationen, dass sie mehr accidentell als solche auftreten.

Von allen Kräften, welche für Unterhaltung der Unbeweglichkeit in jenen typischen sowohl wie in diesen accidentellen Kombinationen wirksam sein können, ist unbedingt die wichtigste die Schwere, weil sie eine konstant wirkende Kraft ohne Relaxation ist. — Die Schwere ist es, welche das Fussgewölbe in die Widerstandsspannung bringt, — die Schwere ist es ferner auch, welche der aufrecht tragenden Wirbelsäule die für ihre Aufgabe nothwendige Spannung ertheilt und ihr dabei den einheitlichen Charakter gibt, — die Schwere ist ferner auch im Stande, dem Becken eine solche Fixirung auf den Oberschenkeln zu geben, dass diesen Theilen damit ebenfalls ein einheitlicher Charakter gegeben wird etc.

Wenn nun die wichtigsten, bleibendsten und typischsten Ruhezustände in dem Körper diejenigen sind, welche nur durch die Schwere und die Widerstände gegen deren Einwirkung hervorgebracht werden, so ist es deutlich, welche Wichtigkeit die Kombinationen (typische und accidentelle) für die Statik des Körpers gewinnen müssen; denn auf die Erzeugung von Kombinationen gründet sich die Möglichkeit gewisser dauernder Ruhehaltungen des ganzen Körpers oder einzelner Theile desselben.

Man kann freilich die Frage aufwerfen, ob gewisse Haltungen, wie z. B. das aufrechte Stehen ganz allein auf diese Weise zu Stande kommen können, also, um es genauer auszusprechen, in der Weise, dass alle dabei in Rechnung kommenden Gelenke allein durch die Schwere und Bänderwiderstand in Unbeweglichkeit gebracht werden, so dass dadurch das ganze Knochengerüste gewissermassen eine einzige Kombination wird, — oder ob zur Unterhaltung einer solchen Stellung auch noch fortdauernde Einwirkung von Muskelkräften nothwendig ist.

Ich bin genöthigt, diese Frage hier zu erwähnen und etwas genauer auf sie einzugehen, weil sie nicht nur überhaupt aufgestellt werden kann und deshalb natürlicher Weise auch schon aufgestellt worden ist, sondern weil sie auch schon benutzt worden ist, um einen Tadel finden zu können gegen die statischen Gesetze in dem menschlichen Körper, welche ich durch verschiedene Untersuchungen gewonnen und bei früheren Gelegenheiten veröffentlicht habe. — Ich kann auf Solches nur antworten, dass ich für jetzt diese Frage nicht nur für eine müssige halte, sondern auch für eine gefährliche, weil sie, je nachdem man sie beant-

wortet, nur im Stande ist, die Bequemlichkeit und Unlust an ernsteren Untersuchungen zu unterstützen. Dass wir durch andauernde Muskelthätigkeit im Stande sind, beliebige Stellungen für eine Zeit lang einzuhalten, ist eine Thatsache, über welche gar nicht zu sprechen ist, weil sie einestheils leicht einzusehen ist und weil anderentheils die tägliche Erfahrung darüber jeden Augenblick Belehrung geben kann. Ferner ist es auch unleugbare Thatsache, dass die Haltung freier beweglicher Theile, wie z. B. des Schulterblattes, sehr wesentlich durch den sogenannten Muskeltonus bestimmt wird, — und nicht minder ist anzuerkennen, dass eine jede Haltung in einem Gelenke nur dann eine vollständig ruhige und gesicherte ist, wenn die beweglichen Knochentheile beständig gewissermassen »in dem Zügel stehen«, d. h. wenn die an ihnen angehefteten Muskeln sich in einem solchen Zustande von Spannung befinden, dass nur ein geringes Plus zu bewegender Aktivität führt, wenn also die Muskeln, welche das Gelenk umgeben, stets in einer Art von aufmerksamer Bereitschaft sind, eine jede kleine Störung der Haltung sogleich zu korrigiren. Wollen wir uns aber hierbei beruhigen und darauf hin eine jede Haltung oder Stellung nur durch Muskelthätigkeit oder Muskeltonus zu Stande kommen lassen, so ist alle weitere Untersuchung als unnöthig abgeschnitten; und demnach erscheint es mir von grösster Wichtigkeit für die richtige Erkenntniss der statischen Verhältnisse in dem menschlichen Körper, dass untersucht werde, wie viele Möglichkeit oder Wahrscheinlichkeit dafür vorhanden sei, dass solche massgebende Haltungen, wie das aufrechte Stehen, zu Stande kommen und eingehalten werden können einzig durch das Zusammenwirken von Schwere, von Gestalt und Resistenzfähigkeit der Knochen und von Bänderspannung. Für den Zweck einer solchen Untersuchung ist es aber durchaus nothwendig, die Mitwirkung der Muskelaktion in irgend einer Gestalt vorläufig als gar nicht vorhanden anzusehen, und zu erforschen, wie weit man in der Erklärung der betreffenden Haltungen unter einziger Berücksichtigung der angegebenen Faktoren gelangen kann. Zeigt es sich dabei etwa, dass für einen oder den anderen Fall diese Faktoren nicht genügen, dann ist es immer noch Zeit, die Muskelwirkungen als einen bereits hinlänglich gekannten Faktor zu Hülfe zu rufen, — und ich werde persönlich in einem solchen Falle jederzeit ebenso geneigt sein, eine solche Mitwirkung anzuerkennen, als ich im Interesse möglichster Durchführung der Untersuchung entschieden abgeneigt bin, eine solche von vorn herein anzunehmen.

Dieses der Standpunkt, von welchem aus ich meine Untersuchungen über die Statik des menschlichen Knochengerüstes beurtheilt zu sehen wünsche.

Der Aufbau des menschlichen Knochengerüstes im Vergleich mit dem Knochengerüste der Wirbelthiere überhaupt.

Das Wirbelthierskelet in seiner vollendeten Ausbildung wird aus dreierlei Elementen gebildet, nämlich aus:

der Wirbelbildung,
der Rippenbildung,
der Extremitätenbildung.

In der angeführten Reihenfolge entstehen diese drei Elemente nach und nach in der embryonalen Entwickelung und in der schematischen Entwickelung des Knochengerüstes, wie sie uns die Thierreihe darbietet. In derselben Reihenfolge bauen sie sich auch zu der Architektur des ganzen Thierleibes auf.

Die **Wirbelsäule** bildet die Grundlage des ganzen Aufbaues; sie gibt, gleichzeitig den Nervencentra Schutz und Unterstützung gewährend, dem Thierleibe in der Längenrichtung Halt und Widerstandsfähigkeit, und ihre Gliederung in die einzelnen Wirbel gestattet es, dass diese Bedeutung vollkommen erfüllt wird, ohne dass zugleich eine starre Steifigkeit sich in störender Weise geltend machen könnte.

Die **Rippen** legen sich dann an die Wirbelsäule an und gewähren eine Widerstandsfähigkeit in der Richtung der Peripherie. Auch hier ist eine Starrheit vermieden, indem die Rippenbildung in Gestalt vereinzelter Knochenbogen auftritt, welche eine freiere Beweglichkeit der Wirbelsäule gegenüber besitzen, und deren jeder durch die Eigenschaften des langen Rippenknorpels eine Art von Gliederung in sich selbst zeigt. Also auch hier findet sich, wie in der Wirbelsäule, Festigkeit ohne Starrheit.

Wirbelsäule und Rippen bilden im Vereine mit dem Kopfe, in welchem Wirbel- und Rippenelemente in modificirter Gestalt wieder gefunden werden, das Knochengerüste des Rumpfes.

Das Knochengerüste der **Extremitäten** ist in seiner einfachsten Gestalt mit seinem »Gürtel« nur in die Muskulatur des Körpers einge-

fügt, und nimmt dabei natürlich keinen direkteren Antheil an der Architektur des ganzen Knochengerüstes. — In ausgebildeterer Gestalt tritt dasselbe indessen in direktere oder indirektere Verbindung mit dem Knochengerüste des Rumpfes. — Das Schulterblatt legt sich auf die Aussenfläche des Brustkorbes an und tritt bei einer Reihe von Thieren in unmittelbare Verbindung mit dem Brustkorbe, indem es sich durch das Schlüsselbein an das Brustbein anlehnt; bei Fischen verbindet sich der Schultergürtel sogar mit dem Hinterhaupte, d. h. also mit der Wirbelsäule. — Die ausgebildetere hintere Extremität geht genauere Verbindungen mit dem hinteren Theile der Wirbelsäule ein und hat dadurch eine sehr innige Vereinigung mit dem Knochengerüste des Rumpfes, so dass sogar der Beckengürtel in topographischer Beziehung sich in die Bedeutung der peripheren Rumpfwandungsknochen (der Rippen) eindrängt.

Der auf solche Weise zu Stande gebrachte Aufbau des Knochengerüstes ist in zweierlei Beziehung für die mechanischen Verhältnisse des Körpers von Bedeutung und in diesen beiden Beziehungen getrennt zu untersuchen, nämlich:

1) in statischer,
2) in mechanischer (im engeren Sinne).

1. Vergleichende Statik des Knochengerüstes.

In statischer Beziehung ist das Knochengerüste nur Stütze des ruhenden Rumpfes; es wird also die Last des Körpers zu tragen haben und da der Körper dabei ruhen (d. h. sich in Gleichgewichtslage befinden) soll, so wird es auch den Schwerpunkt des Körpers unterstützen müssen in denjenigen Fällen, in welchen die Schwerlinie nicht unmittelbar aus dem Körper in den Boden fällt.

Mit Rücksicht auf die Statik des Knochengerüstes sind die beiden Grundformen desselben zu unterscheiden, nämlich:

a) diejenige, in welcher dem Knochengerüste eine direktere Belastung nicht wird und
b) diejenige, in welcher das Knochengerüste die ganze Last des Körpers zu stützen und zu tragen hat.

In der ersten Grundform hat das Knochengerüste gar nichts zu tragen und besitzt deshalb auch nicht eine hierauf gerichtete Gestaltung. Schlange und Fisch sind die hierfür typischen Thierformen. Die Schlange liegt mit der Bauchwandung auf dem Boden und die ganze Körperlast wird deshalb von diesem allein getragen; die Rumpfknochen kommen dabei nur insofern in Rechnung als die Gesammtheit der sehr zahlreichen

Rippen mit ihrem freien Ende als Theil der Leibeswand auf dem Boden aufgestützt ist und durch ihre Starrheit das Einsinken der von ihnen umgebenen Leibeshöhle verhindert. Sie haben dabei allerdings den entsprechenden Theil der Wirbelsäule zu tragen, indessen ist diese Last eine so geringe und dabei ist sie so vertheilt, dass die Belastung der einzelnen Rippe kaum erwähnenswerth ist. In ähnlichen Verhältnissen sind Saurier und Urodelen (*Lacerta, Salamandra*), welche nicht oder nur ausnahmsweise auf ihre Extremitäten gestellt sind, und im ruhenden Zustande mit der Bauchwandung an dem Boden liegen. — Die Wirbelsäule ist bei allen diesen Thieren ohne eine andere Gestaltung, als dass sie eine langgestreckte Reihe von Wirbeln ist, die wegen ihrer Beweglichkeit leicht eine jede Gestalt annimmt, welche eine Bewegung oder die Oberfläche des stützenden Bodens ihr mittheilt. — Bei den Fischen sind die Verhältnisse insofern verwandt, als bei ihnen die Wirbelsäule ebenfalls nicht in nennenswerther Weise belastet ist, indessen ist der Grund hierfür doch ein anderer, weil er in der fast vollständigen Gleichheit des specifischen Gewichtes des Fischleibes mit demjenigen des umgebenden Wassers zu finden ist. Man findet übrigens doch denjenigen Theil der Wirbelsäule, welcher der Leibeshöhle entspricht, häufig so gewölbt, dass die Konkavität nach unten gerichtet ist. Man könnte denken, dass diese Gestaltung die Bedeutung haben solle, die Schwere der Eingeweide zu tragen, indessen kann dieselbe doch auch dahin erklärt werden, dass sie nur die Folge der Rundung der Leibeshöhle unter dem Gegendrucke der Eingeweide ist, und dass vielleicht namentlich der Druck der aufwärts drängenden Schwimmblase dafür erzeugend einwirken kann.

Dieser Art von Wirbelsäule steht gegenüber, ausgezeichnet durch eine bestimmte architektonische Gestaltung, die tragende Wirbelsäule, welche die Last des Körpers zu tragen hat. Von dieser finden sich zwei Typen:

a) die gewölbeartige,

b) die aufrecht federnde.

Der erste Typus findet sich bei Quadrupeden, der zweite Typus bei Bipeden. (Diese Ausdrücke sind etymologisch zu verstehen.)

Das Knochengerüste des Quadrupeden, insbesondere des auf vier Füssen stehenden Säugethieres, ist ein vollständiges Gewölbe. Die Wirbelsäule, so weit sie dem Rumpfe im engeren Sinne angehört, d. h. ohne Hals und ohne Schwanz, ist in einem gleichmässig gewölbten Bogen angeordnet, welcher leicht als Gewölbebogen erkannt wird, vollständig geeignet, die Last des Rumpfes und insbesondere der an ihr aufgehängten Eingeweide zu tragen. Die Gewölbesäulen, welche die beiden Enden des Bogens zu stützen haben, sind die Extremitäten, welche, vordere und hintere, in vollständiger Symmetrie aufgebaut sind. Das der

Wirbelsäule zunächst liegende Stück der Extremität, von welchen das Hüftbein direkt und das Schulterblatt indirekt (durch seine Anlagerung an den Brustkorb) mit der Wirbelsäule verbunden ist, liegen nach unten zu divergent, den Gewölbebogen gewissermassen fortsetzend. Das folgende Glied, Oberarm und Oberschenkel, liegt wieder nach unten konvergirend; Unterarm und Unterschenkel dann wieder divergirend und dann Hand und Fuss mehr oder weniger senkrecht nach unten. — Die Belastung, welche der Gewölbebogen der Wirbelsäule erfährt, ist theilweise eine direkte dadurch, dass Eingeweide an derselben aufgehangen sind und dass die Wirbelsäule als der einzige feste longitudinale Theil in dem oberen Theile des Rumpfes angebracht ist und deswegen die Schwere des Rumpfes überhaupt zu tragen hat. Theilweise ist sie aber auch eine indirekte, indem ein Theil der Eingeweide und gerade die schwersten derselben zunächst von dem Brustkorbe getragen werden und dieser dann erst die Belastung an die Wirbelsäule überträgt. Mit dieser Bedeutung des Brustkorbes steht denn auch seine Organisation in Verbindung. Derselbe hat einen ovalen Querschnitt und die Längenaxe des Ovales ist dabei senkrecht (von der Rückenseite zur Bauchseite hin) gestellt; die Rippen sind dadurch geeigneter zum Tragen. Besonders geeignet für das Tragen einer Belastung ist auch die Einrichtung des Wirbelendes jeder Rippe. Dasselbe ist nämlich gabelig gespalten; der obere Schenkel der Gabel ist das Tuberkulum und ist sehr fest an den *processus transversus* des betreffenden Wirbels angeheftet. Der untere Schenkel der Gabel dagegen ist das Kapitulum und ist ebenso fest an den Wirbelkörper angefügt. Die Rippe stellt auf diese Weise einen Hebel dar, welcher auf zweierlei Art aufgefasst werden kann. Sieht man, was unserer Auffassung von dem menschlichem Knochengerüste am Nächsten liegt, das Kapitulum als die eigentliche Anheftungsstelle der Rippe an, so ist dieses das Hypomochlion und die ganze Rippe ein Winkelhebel mit einem unteren Hebelarme (der Rippe selbst) und einem oberen Hebelarme (dem Tuberkulum); an

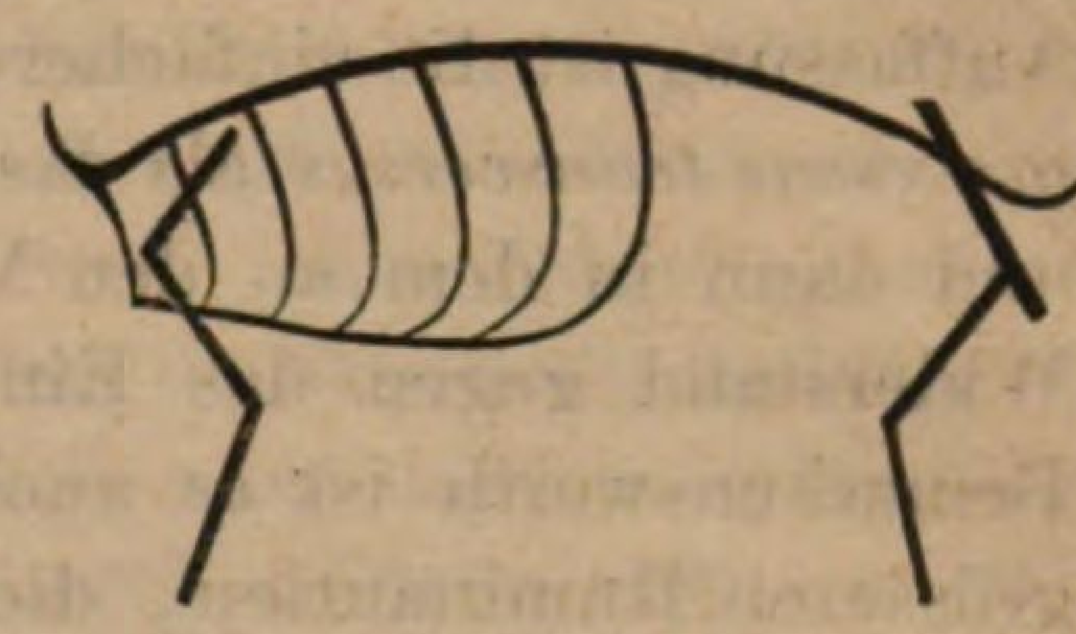


Fig. 20.

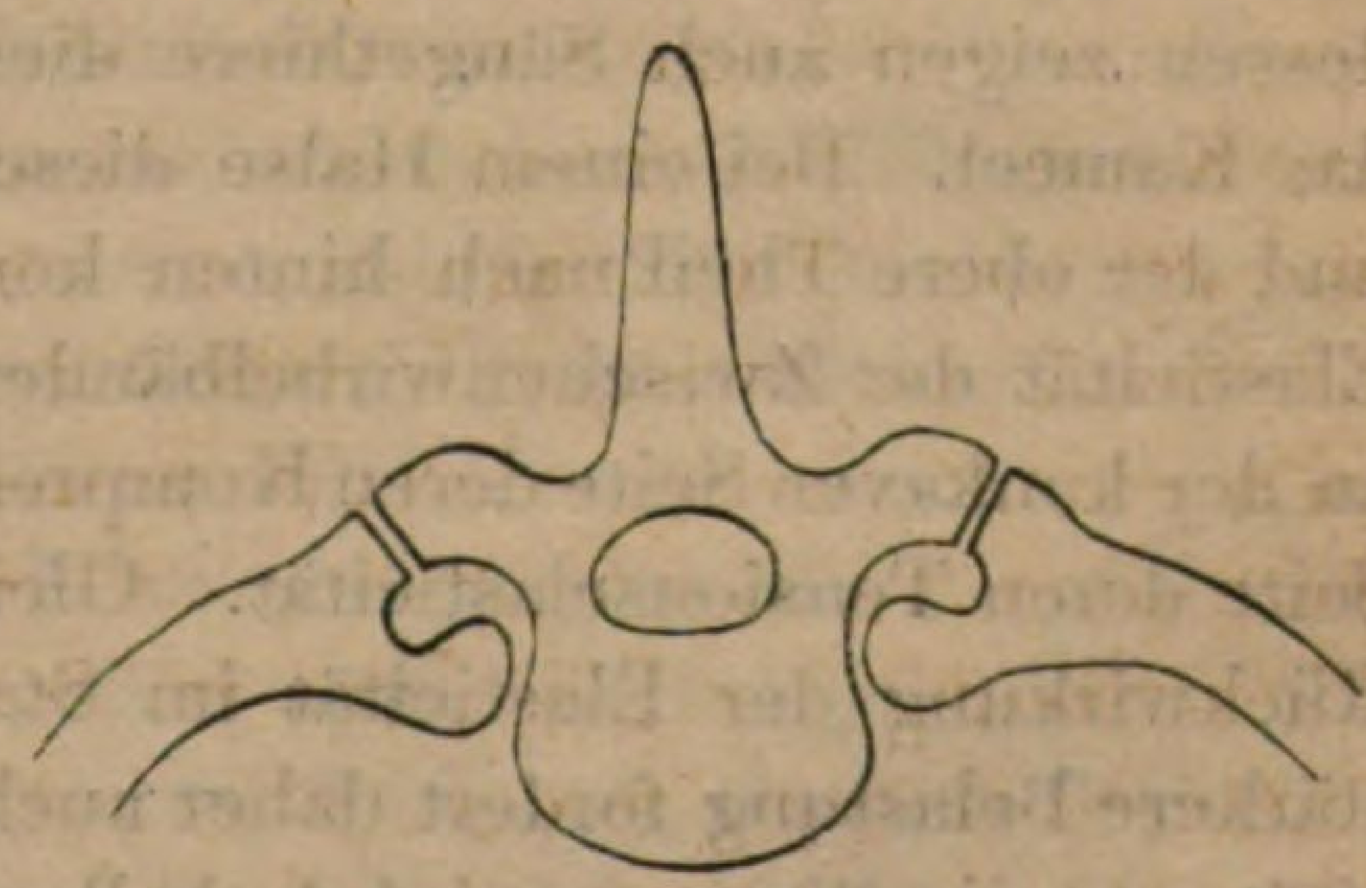


Fig. 21.

Fig. 20. — Schema des Rumpfskeletes eines Quadrupeden.
Fig. 21. — Anheftung der Rippe des Pferdes an ihren Wirbel.

dem unteren Hebelarme wirkt die aufgelegte Last und würde die ganze Rippe gegen die Mittelebene des Körpers hinabziehen, wenn nicht an dem anderen Hebelarme (dem Tuberkulum) der Widerstand der starken Bandmasse hemmend entgegenstände. Man kann aber auch — und diese Auffassung ist die einfachere — die Anheftung des Tuberkulum an den *processus transversus* als das Hypomochlion eines Winkelhebels ansehen und dann in dem an den Wirbelkörper angestemmten Kapitulum einen Widerstand gegen das Einwärtsdrängen der belasteten Rippe finden. Bemerkenswerth ist es auch noch, dass schwerfällige Thiere, wie die grösseren Ruminantien, die Pachydermen und die Solidungula einen im Verhältniss zur Länge des ganzen Rumpfes langen Thorax besitzen, wohl geeignet den schwer mit Pflanzenkost gefüllten Magen zu tragen, während dagegen die Karnivoren einen kürzeren Thorax und längere Lendenwirbelsäule besitzen und deshalb die bekannte schlankere Leibesgestalt zeigen.

An das besprochene Gewölbe des Quadrupedenleibes ist dann noch durch das *ligamentum nuchae* die Halswirbelsäule und der Kopf so angeheftet, dass namentlich die vordere Hälfte des Gewölbes diese Theile muss tragen helfen. Der Horizontalschub des vorderen Theiles wird dadurch vermehrt und diesem Umstande entspricht die gewohnte Stellung solcher Thiere, welche längeren Hals und schwereren Kopf haben. Sie stellen nämlich gern die Vorderbeine etwas nach vorn gerichtet.

Die zweite Form, in welcher die Gleichgewichtslage der tragenden Wirbelsäule erscheinen kann, ist diejenige der mehrfach gebogenen Feder. In einfachster Gestalt erscheint diese Form an der Halswirbelsäule langhalsiger Thiere; typisch ist dieses der Fall bei den Vögeln, indessen zeigen auch Säugethiere diese Form und unter diesen vor Allen das Kameel. Bei einem Halse dieser Art ist der untere Theil nach vorn und der obere Theil nach hinten konvex. In diesen Biegungen wird die Elasticität der Zwischenwirbelbänder in Anspruch genommen und zwar an der konkaven Seite deren Kompressionselasticität und an der konvexen Seite deren Tensionselasticität. Gleichgewicht ist hergestellt, sobald die Rückwirkung der Elasticität im Stande ist, die Belastung zu tragen; stärkere Belastung fordert daher auch stärkere Beanspruchung der Elasticität und die Biegung wird deshalb stärker in dem Verhältnisse, in welchem die Belastung zunimmt. Hiermit ist denn auch stets Gleichgewicht zwischen Belastung und Elasticitätsspannung gegeben und es ist daraus zugleich ersichtlich, wie mit solchen Krümmungen die Last des Kopfes federnd getragen werden muss. Wird nämlich z. B. bei einem Sprunge dem Kopfe eine beschleunigte Geschwindigkeit mitgetheilt, so dass er vorübergehend eine stärkere Belastung gibt, so wird diese, wenn nicht verstärkte Muskelthätigkeit sie tragen hilft, durch eine augenblickliche

stärkere Biegung der Wirbelsäule aufgenommen und sogleich erhebt sich dann durch ihre Elasticität die Wirbelsäule wieder in ihre der einfachen Schwere des Kopfes entsprechende geringere Biegung. — Indessen ist damit die vollständige Gleichgewichtslage noch nicht erreicht; für diese ist es nothwendig, dass bei momentanen Minderungen der Belastung oder bei einem geringeren Ortswechsel der belastenden Masse die Elasticitätswirkung nicht sogleich in solcher Weise streckend wirkt, dass dadurch die Haltung der Wirbelsäule gestört und etwa durch die Elasticität der unteren Biegung der Kopf nach vorn geworfen würde oder durch diejenige der oberen Biegung nach hinten. Für diesen Zweck müssen sich vor allen Dingen die Federspannungen beider Biegungen gegenseitig im Gleichgewicht befinden und dann muss die Belastung in der Weise angebracht sein, dass auf ihrer Seite ein gewisses Uebergewicht ist, welches in ähnlicher Weise eine Ruhelage gewährt, wie ein an dem einen Arme eines zweiarmigen Hebels hängender Körper sie findet, wenn der Bewegung des anderen Hebelarmes ein gleichmässiger überstarker Widerstand geboten ist (festgestellter Hebel). Diese Bedingung ist erfüllt, wenn die Last für die einzelne Federkrümmung so angebracht ist, dass ihre Schwerlinie als eine Sehne zu der konkaven Seite der Feder so herunterfällt, dass sie den Boden hinter dem Stützpunkte, welcher aber dann fixirt sein muss, trifft. Als Stützpunkt für die obere Federkrümmung ist aber derjenige Punkt anzusehen, in welchem sich die Tensionsspannungen und die Kompressionsspannungen beider Bogen gegenseitig vernichten. Der Kopf muss also, wenn Gleichgewichtslage in einer solchen doppeltgebogenen Halswirbelsäule sein soll, so gestellt sein, dass seine Schwerlinie vor dem eben bezeichneten neutralen Punkt zwischen beiden Krümmungen herunterfällt, und hinter dem Stützpunkte der unteren Krümmung, d. h. dem Anfange der Halswirbelsäule. Aus diesem Grunde besitzt auch der untere Bogen stets einen grösseren Radius als der obere Bogen. — Die Schwere der Halswirbelsäule ist hierbei nicht in Rechnung gebracht, wäre auch nur bei genauerer Durchführung eines besonderen Falles in Rechnung zu bringen. Die Aufstellung des Principes kann ohne dieselbe in gleicher Weise geschehen, wie ja auch die Hebelgesetze an einem gewichtlosen Hebel gewonnen werden.

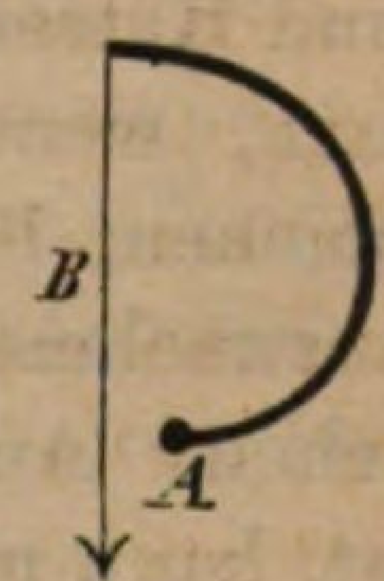


Fig. 22.

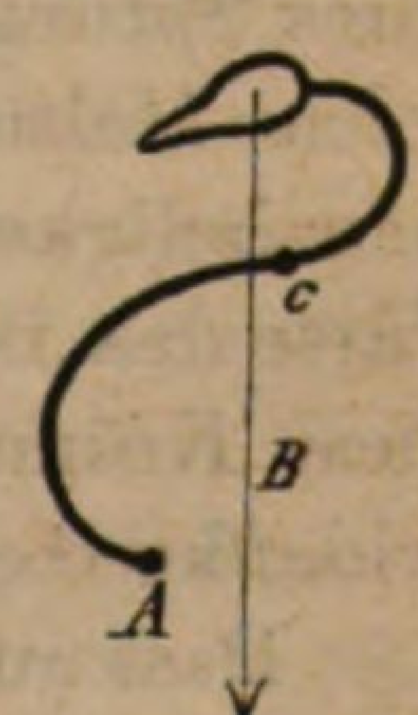


Fig. 23.

Fig. 22. — Die aufrechtstehende Feder im Gleichgewicht nach dem Principe des festgestellten Hebels. *A* fixirtes unteres Ende. — *B* Belastung, deren Schwerlinie hinter *A* hinabfällt.

Fig. 23. — Doppelt gebogene aufrechtstehende Feder. Schema der Halswirbelsäule des Vogels. *A* fixirtes unteres Ende. — *c* neutraler Punkt zwischen beiden Krümmungen. — *B* Belastung.

Eine solche gebogene Feder ist auch die menschliche Wirbelsäule; nur sind an dieser nicht, wie in dem eben besprochenen Falle, zwei Krümmungen, sondern es finden sich in ihr bekanntlich drei Krümmungen, für welche aber das gleiche Gesetz gilt, wie für die zweifache Krümmung. Die so aufgerichtete Wirbelsäule ruht dann auf dem Kreuzbeine als dem mittleren Theile des Beckengewölbes, welches seinerseits wieder auf den Beinen, als auf Stützpfeilern, ruht. Die genauere Analyse dieser Haltung ist Gegenstand eines späteren Abschnittes; deshalb genügt für jetzt diese Andeutung, durch welche der menschlichen Wirbelsäule ihre Stellung unter den Wirbelsäulen anderer Vertebraten angewiesen wird.

Es ist von Interesse zu sehen, dass die beiden besprochenen Hauptgestalten der Wirbelsäule nicht angeborene sind, sondern erst anerzogene Haltungen sind. Den Beweis dafür liefert einestheils der Vergleich mit der Wirbelsäule des Neugeborenen und andererseits die Beobachtung, welche zeigt, wie jene Gestaltungen durch freiwillig angenommene Haltungen zuerst vorübergehend erzeugt werden und dann mit der Zeit nach und nach bleibend werden.

Junge Quadrupeden haben eine gerade Wirbelsäule. Junge Hunde und Katzen schleifen beim Kriechen den Bauch auf dem Boden hin und erst, wenn sie die ersten kräftigeren und bewussteren Gehversuche machen, beginnen sie die bogenförmige Gewölbegestalt der Wirbelsäule anzunehmen. Man kann häufig junge Hunde diese Biegung übertreiben sehen. Auch wenn die bogenförmige Biegung bereits stabil geworden ist, kann man häufig eine freiwillige Vermehrung derselben wahrnehmen in Fällen, in welchen eine stärkere Belastung eine solche nothwendig macht. Bei Pferden kann man eine solche vermehrte Rückenwölbung in dem Augenblicke wahrnehmen, in welchem der Reiter aufsteigt; und bei vielen Thieren gehört der stärker gekrümmte Rücken zur Charakteristik ihres Sprunglaufes; die stärkere Belastung, welche in diesem Falle eine solche Haltung nothwendig macht, ist durch die beschleunigte Fallgeschwindigkeit der Eingeweide gegeben, welche noch fortwirkt, wenn die Füsse den Boden bereits berührt haben. Besonders auffallend erscheint diese Krümmung bei den Arten der Gattung Mustela, wo die lange, schlanke Gestalt der Wirbelsäule sie nothwendiger zu machen scheint.

Dass auch die menschliche Wirbelsäule ihre gekrümmte Gestalt erst allmälich durch fortgesetzte Haltung annimmt, während die dadurch noch nicht beeinflusste Wirbelsäule des Neugeborenen noch ganz gerade ist, soll in Späterem weiter ausgeführt werden.

Die beiden so eben angeführten Thatsachen geben zugleich einen Beweiss von dem grossen, hier noch im Gebiete des Physiologischen liegenden, Einflusse der Haltung auf die bleibende Konfiguration des ganzen Knochengerüstes.

2. Vergleichende Mechanik des Knochengerüstes mit besonderer Beziehung auf die Lokomotion.

In mechanischer Beziehung ist das Knochengerüste ein wesentlicher Faktor für die Art und Weise, wie der Thierleib Lagenveränderungen zwischen sich und den Körpern der Aussenwelt zu Stande bringt. Es kann dabei ein äusserer Gegenstand das Bewegte und der Thierleib das Ruhende sein; — oder es kann der äussere Gegenstand das Ruhende und der Thierleib das Bewegte sein. Beide Verwendungen des Knochengerüstes sind vorzugsweise an das Vorhandensein von Extremitäten gebunden und zwar ist in dieser Beziehung das menschliche Skelet vor Allen dadurch ausgezeichnet, dass die eine seiner Extremitäten (die obere) zu vorzugsweiser Verwendung für Lagenveränderung äusserer Gegenstände, als Greifapparat, eingerichtet ist, während die andere (die untere) in eben so entschiedener Weise durch ihre Organisation auf eine Verwendung hinweist, durch welche die Lage des Körpers zu äusseren Gegenständen verändert wird. Unter bestimmten Verhältnissen wird diese Verwendung zur Grundlage der Ortsbewegung (Lokomotion).

Der extremitätenlose Thierleib besitzt nur sehr unvollkommene Surrogate für die Greifbewegungen, welche in dem menschlichen Arme einen so vielseitig brauchbaren Apparat zur Verfügung haben. Fixirung eines äusseren Gegenstandes durch ringelnde Umwickelung ist Alles, was z. B. die Schlange in dieser Hinsicht zu leisten vermag. — In Bezug auf Lokomotion sind diese Thiere ebenfalls in einer sehr untergeordneten Stellung; denn sie sind, wie viele wirbellose Thiere, darauf angewiesen, ihre Vorwärtsbewegung in wechselnder Näherung und Entfernung der beiden Leibesenden zu finden. Das Princip für diese Art der Lokomotion ist immer das Gleiche: An das fixirte vordere Ende wird das hintere Ende genähert, dann wird das hintere Ende fixirt und von demselben das vordere entfernt, dann wieder nach Fixirung des letzteren das hintere nachgezogen etc. — Bei dem Blutegel geschieht dieses durch wechselnde Kontraktion seiner Längs- und seiner Ringmuskulatur, wodurch er abwechselnd kurz und dick oder lang und dünn wird; — die Spannerraupe erreicht denselben Zweck durch Krümmung ihres ganzen Leibes in einen vertikal gestellten Bogen; — und die Schlange verwendet dafür die Bildung mehrerer horizontaler Bogen (die nach ihr benannte »Schlängelung«).

Das Grundprincip des Baues einer Extremität ist mit den beiden Haupttheilen ausgesprochen, welche als Oberarm und Unterarm, beziehungsweise als Oberschenkel und Unterschenkel, bekannt sind. Diese beiden Theile sind stets in einem mehr oder weniger reinen

Ginglymus mit einander vereinigt und können dadurch in verschiedene Winkelstellungen zu einander gebracht werden, welche zwischen 180° (»Streckung«) und einem bei verschiedenen Extremitäten verschiedenen Minimum wechseln. Die Bewegung aus einer kleineren Winkelstellung in eine grössere wird als »Streckbewegung« bezeichnet, diejenige aus einer grösseren Winkelstellung in eine kleinere als »Beugebewegung«. — Eine Winkelstellung überhaupt unter 180° ist eine »Beugestellung«; die Stellung in einem Winkel von 180°, d. h. mit Kontinuität der Axen der beiden Gliedtheile, ist die »Streckstellung«. Vielfach werden die Ausdrücke »Beugung« und »Streckung« ebensowohl für die entsprechende Bewegung, wie für die entsprechende Stellung gebraucht, indessen führt die Anwendung desselben Ausdruckes für zwei so verschiedene Begriffe nothwendig zu Unklarheiten und wird deshalb besser vermieden. (Vgl. den Abschnitt: Die Gelenke und ihre Ruhelagen.)

Beugebewegungen sowohl als Streckbewegungen geschehen stets in derselben Ebene (Beugeebene, Flexionsebene), welche im Schema senkrecht zu der Axe des Ginglymusgelenkes gestellt ist, in Wirklichkeit scheint sie indessen immer schief zu liegen, indem wahrscheinlich ein reiner Ginglymus, wenigstens an den Extremitäten, gar nicht gefunden wird, weil die Führungslinien in der Regel einen Schraubengang von mehr oder weniger Steigung darstellen. Für die Auffassung der gewöhnlichen Verhältnisse ist jedoch hinlängliche Genauigkeit gegeben, wenn man als Vereinigungsweise zwischen den beiden Gliedtheilen einen reinen Ginglymus annimmt.

Durch abwechselnde Beuge- und Streckbewegungen können die beiden freien (nicht mit einander verbundenen) Enden der genannten Gliedtheile abwechselnd einander genähert oder von einander entfernt werden; — und hierauf beruht die Möglichkeit, dass der Körper und ein äusserer Gegenstand durch Aktion der Extremität in verschiedene Lage zu einander gebracht werden können. Es ist, damit dieses geschehen könne, nur nothwendig, dass das eine freie Ende in dem Körper fixirt sei und dass das andere freie Ende die Möglichkeit besitze, mit einem äusseren Gegenstande in innige Berührung zu treten. Diesem entsprechend ist denn auch das eine Ende des einen Theiles, der dadurch zum Oberarm (Oberschenkel) wird, durch Vermittelung eines besonderen Knochenapparates (Extremitätengürtel) in die Rumpfwandung eingefügt, und in diesem Extremitätengürtel artikulirt dann der Oberarm (Oberschenkel) durch eine Arthrodie, welche in ihrer allseitigen Bewegungsmöglichkeit es gestattet, dass die Flexionsebene in jede beliebige Richtung gestellt werden kann. — Das freie Ende des anderen Theiles (Unterarm, Unterschenkel) ist dagegen mit einem vielgliederigen accessorischen Apparate

verschen, welcher sich der Oberfläche äusserer Gegenstände von verschiedenster Gestalt leicht anpassen kann; für die greifende obere Extremität ist dieses die Hand, welche haken- oder ringförmig die Gegenstände umfassen und fixiren kann; für die tragende untere Extremität ist es der Fuss, welcher so organisirt ist, dass er sich einerseits leicht den verschiedensten Bodengestalten anschmiegen kann, andererseits aber auch im Stande ist, die Last des Körpers zu tragen. In der Thierreihe ist gerade in diesem accessorischen Gliede die grösste Mannichfaltigkeit der Bildung zu beobachten, indessen wird doch vorherrschend der allgemeine Charakter des Fusses angetroffen, seltener derjenige der Hand; diejenige Modifikation, welche als Flosse oder Flügel erscheint, ist zugleich mit verwandten Bildungen später zu besprechen, weil die Eigenthümlichkeit der Organisation in diesen Fällen die ganze Extremität betrifft.

Die angegebenen Eigenschaften der Extremitäten befähigen dieselbe auch für die Lokomotion zu wirken, indessen kann dieses nur in einem beschränkten Masse der Fall sein, weil die Beuge- und Streckbewegungen doch nur einen verhältnissmässig geringen Erfolg haben können, namentlich wenn es sich um Vorwärtsbewegung des Thierleibes handelt. Es ist nämlich nicht zu übersehen, dass durch die Beuge- und Streckbewegungen der Extremität immer nur eine Näherung oder Entfernung ihrer beiden Enden zu Stande kommt und dass dieses, wenn das eine Ende fixirt ist, und wenn beide Knochen gleichmässig beweglich sind, in einer geraden Linie geschieht. Ist nun das fernere Ende der Extremität (Hand oder Fuss) an einem feststehenden äusseren Gegenstande fixirt, so wird das Rumpfende der Extremität in dieser Linie dem Fixirungspunkte genähert oder von diesem entfernt. Es ist leicht einzusehen, dass die Möglichkeit einer Vorwärtsbewegung des Thierleibes durch diese Art der Bewegung nur dann gegeben ist, wenn die bezeichnete Linie in der Richtung der Vorwärtsbewegung selbst gelegen ist. Ist dieses nicht der Fall, dann kann eine Ortsbewegung nicht zu Stande kommen. Stehen wir z. B. auf beiden Beinen, so können wir eine Beugung und Streckung abwechselnd in den Knieen ausführen, so oft und so kräftig wir wollen; wir werden dann unseren Körper abwechselnd dem Boden nähern oder ihn wieder von demselben entfernen, aber niemals werden wir eine Ortsbewegung zu Stande bringen. — Soll durch eine Verwendung der Extremität in angegebener Art wirklich eine Ortsbewegung zu Stande kommen, so ist dieses nur in der Weise möglich, dass die vorwärts ausgestreckten Arme mit der Hand einen Gegenstand fassen und dann den Rumpf nachziehen oder dass die hinterwärts gestellten Beine, mit den Füssen an einen Gegenstand sich anstemmend, den Rumpf vorwärts stossen. Gelegentliche Umkehr dieses Verhältnisses, so dass mit den Beinen der Rumpf angezogen und mit den

Armen abgestossen würde, kann wohl vorkommen, ist indessen dem Konstruktionsplan beider Extremitäten so zuwider, dass sie nur sehr selten und nur unter besonderen Umständen beobachtet wird: es ist deshalb darauf keine Rücksicht zu nehmen, namentlich da neue Principien bei dieser Analyse nicht gefunden werden könnten. — Bei einer Vorwärtsbewegung mit diesen Hülfsmitteln ist übrigens noch ein weiterer Punkt zu berücksichtigen und das ist der, dass der Schwerpunkt des Körpers nicht ohne Unterstützung bleiben darf. — Würde in der oben angegebenen Weise eine Vorwärtsbewegung parallel der Bodenoberfläche ausgeführt, so könnte die nothwendige Unterstützung des Schwerpunktes nur in der Weise geschehen, dass der ganze Körper flach auf dem Boden liegen und so vorwärts rutschen würde. In solcher Art soll sich der Bradypus bewegen, wenn er auf dem flachen Boden liegt; als freiwillige und regelmässige Art der Lokomotion möchte dergleichen aber wohl schwerlich vorkommen, denn die freieste und ausgiebigste Bewegung bei jeder Art von Lokomotion auf festem Boden ist immer diejenige, bei welcher die Extremitäten den Schwerpunkt frei tragen. Soll dieses bei der fraglichen Art der Lokomotion der Fall sein, so muss der Schwerpunkt des Rumpfes an der fixirten vorderen Extremität hängen oder er muss sich auf die angestemmte hintere Extremität stützen. Beide Bedingungen werden aber nur erfüllt, wenn die Bewegung nach *aufwärts* gerichtet ist, d. h. wenn eine *Kletterbewegung* ausgeführt wird. — Gerade das Lagenverhältniss der Extremitäten gegenüber dem Schwerpunkte lässt übrigens die Anwendung beider Extremitäten ganz verschieden in Bezug auf ihre Sicherheit erscheinen. Es ist nämlich leicht einzusehen, dass bei dem Klettern die *vordere* Extremität die grösste Sicherheit gewährt, weil durch ihre Fixirung der durch sie getragene Schwerpunkt sich im *stabilen* Gleichgewichte befindet, während die *hintere* Extremität, wenn sie den Schwerpunkt stützt, diesen im *labilen* Gleichgewichte trägt. Aus diesem Grunde spielt auch die vordere Extremität bei dem Klettern die Hauptrolle, indem sie durch ihre Beugung den Schwerpunkt und mit ihm den ganzen Rumpf hinauf*zieht*; die hintere Extremität kann dabei vollständig entbehrt werden, oder sie unterstützt die Kletterbewegung nur dadurch, dass sie durch Streckung nachschiebt, während die



Fig. 24.

Fig. 24. — Schema der Kletterbewegung, als einer Bewegung, in welcher anziehende Beugung der vorderen und abstossende Streckung der hinteren Extremitäten für sich Lokomotion bewirken. — *A* vor der Lokomotion, *B* nach derselben.

vordere Extremität durch Beugung anzieht, und auch wohl dadurch, dass sie durch Umklammern der Kletterstange den Rumpf für den Augenblick fixirt, in welchem eine oder beide Hände losgelassen werden, um einen höheren Haltepunkt zu ergreifen. — Sehr verwandt einer solchen Kletterbewegung im engeren Sinne (an einer Stange, einem Baumstamm etc.) ist das Besteigen einer Leiter; dieses verhält sich nur zu jenem Klettern, wie der Schrittgang des Quadrupeden zum Gallopp. Dem Gallopp gleicht nämlich das Stangenklettern insofern, als bei beiden Bewegungsarten beide vordere Extremitäten gleichzeitig vorwärts bewegt werden und ebenso beide hintere Extremitäten; — und dem Schritt gleicht das Leitersteigen, weil bei diesem wegen erleichterter Fixirung der Extremitäten ein kreuzweises Vorwärtssetzen einer vorderen Extremität gleichzeitig mit der hinteren Extremität der anderen Seite statt findet, wie in dem Quadrupedenschritt, oder häufiger ein gleichzeitiges Vorsetzen beider Extremitäten derselben Seite, wie in dem Quadrupeden-Passgang. — Das Klettern in Baumästen ist nur eine Modifikation des Leitersteigens.

Beide Formen des Kletterns (Stangenklettern und Leitersteigen) kommen bekanntlich gelegentlich bei dem Menschen vor und sind für die Affen und verwandte Thiere die bevorzugte Fortbewegungsweise; indessen ist die Anwendung derselben, wenn man die ganze Thierreihe in's Auge fasst, doch im Ganzen von einer sehr geringen Verbreitung, denn es können nur solche Thiere sich ihrer bedienen, deren vordere Extremität durch ihre Organisation befähigt ist zu greifen und zu erfassen.

Wie die soeben gegebene Entwickelung gezeigt hat, ist also die Verwendung der zweigliederigen Extremität zur Lokomotion durch anziehende Beugung und abstossende Streckung, eine verhältnissmässig sehr beschränkte. Die bezeichneten Aktionen der Extremität können deshalb nicht die allgemeine Grundlage der Lokomotion durch Extremitäten sein und die Mehrzahl der Lokomotions-Formen muss auf einem anderen Principe beruhen. Welches dieses Princip sei, ist jetzt zu untersuchen.

Worauf es bei der Lokomotion ankömmt, das ist, dass der Rumpf in einer solchen Weise vorwärts bewegt werde, dass sein Schwerpunkt immer unterstützt ist. Das Princip verlangt allerdings, dass diese Unterstützung eine solche sei, welche eine solide ist und zugleich die Möglichkeit einer längeren Andauer in sich trägt, indessen findet sich doch auch eine Unterstützungsform häufig angewendet, welche mit Nothwendigkeit den Charakter eines ganz transitorischen Werthes trägt und bei einer gewissen Bewegungsart ist dieses sogar die allein angewendete. Da diese Bewegungsart sich zunächst an die vorher besprochene anreiht, so sei sie hier zuerst berücksichtigt.

Eine Vorwärtsbewegung des Schwerpunktes, bei welcher dieser seine ihm immanente Wirkungsweise vorübergehend nicht in die Erscheinung bringen kann, so dass er für diese Zeit eine Unterstützung nicht braucht, kann nämlich auch dadurch hervorgebracht werden, dass ihm durch irgend einen Impuls eine Bewegung mitgetheilt wird, welche erst nach und nach durch die Schwere überwunden und aufgehoben wird. So behält der geworfene Stein eine ganze Zeit lang die ihm mitgetheilte horizontale oder aufsteigende Bewegung und sinkt dann erst, der Schwere folgend, allmälig zu Boden. In gleicher Weise kann auch durch eine rasche und kraftvolle Streckung der Extremitäten, namentlich der hinteren Extremität, dem Körper eine so starke Bewegung mitgetheilt werden, dass der ganze Körper der Schwerewirkung entgegen frei von dem Boden erhoben wird, um dann allerdings bald wieder auf den Boden zurückzusinken. — Diese Bewegung ist der Sprung. Werden dabei die Extremitäten einfach nur gebeugt und wieder gestreckt, so wird der Körper nur senkrecht empor geworfen und fällt auf dieselbe Stelle, an welcher er vor dem Sprunge gestanden hat, wieder zurück. Wird dagegen die Richtung der Streckung so gewählt, dass sie zugleich gegen vorn gewendet ist, wobei namentlich auch das Fussgelenk mitzuwirken hat, dann wird dem ganzen Körper eine solche Bewegung mitgetheilt, dass er nach vorn und aufwärts geworfen wird und dann erst in einer gewissen Entfernung von seinem früheren Standpunkte wieder auf den Boden gelangt. Damit ist denn eine Ortsbewegung gegeben und durch wiederholte Ausführung eines derartigen Sprunges ist es möglich, sich grössere oder kleinere Strecken über den Boden hin vorwärts zu bewegen. Als Regel kommt diese Art der Ortsbewegung vor bei den hüpfenden Vögeln und in dem schnellen Vorwärtseilen gewisser Säugethiere, welche verkümmerte vordere Extremitäten besitzen (*Halmaturus, Dipus*).

Sehr ausgiebig wird diese Vorwärtsbewegung, wenn der Sprung nur mit einer hinteren Extremität ausgeführt und dann der Körper mit der unterdessen schnell vorwärts gestellten anderen Extremität aufgefangen wird, die beschleunigte Fallbewegung bringt dann diese Extremität in dem Augenblicke, in welchem sie den Boden berührt, in Beugestellung und sie kann dann ihrerseits sogleich wieder die Sprungbewegung ausführen. Diese Art der Vorwärtsbewegung (es ist unser Sprunglauf) gewährt den Vortheil, dass durch die hierbei mögliche äusserst schnelle Succession der Sprungstösse dem Körper eine solche *vis inertiae* nach vorwärts gegeben wird, dass einerseits die für Fortsetzung aufzuwendende Kraftanstrengung der Beinmuskeln eine geringere sein kann, und dass andererseits die Aequilibrirung auf dem gerade den Boden berührenden Beine nicht zu genau zu sein braucht. Wir können es ja oft genug sehen, dass ein auf diese Art Laufender ein- oder das andere Mal, wenn

die Bodenverhältnisse es verlangen, von einem seitwärts zu seiner Richtung liegenden Punkte einen Absprung nimmt.

Ausser dem Menschen scheint der Sprunglauf nur noch den laufenden Vögeln (*Gallinacei, Struthiones*) zuzukommen.

Bei allen anderen Arten der Vorwärtsbewegung durch Hülfe der Extremitäten hat die Gliederung derselben nur eine untergeordnete Bedeutung und die Extremität wirkt vorzugsweise nur als Ganzes oder kann wenigstens so wirken, deshalb ist es auch am Einfachsten, sie für die Untersuchung der hierbei in Anwendung kommenden Principien nur als ein steifes Ganze anzusehen, welches durch Arthrodie mit dem Knochengerüste des Rumpfes verbunden ist. Als das andere Ende der Extremität hat man dann bei Digitigraden, Solidungula etc. das wirkliche Ende der Extremität anzusehen, wie es durch die (gestreckten oder flachliegenden) Zehen gegeben ist; für Auffassung der Grundform der Gehbewegung bei dem Menschen gewährt es indessen einige Vortheile, das Ende der Extremität in das Fussgelenk zu legen und den aufgesetzten Fuss gewissermassen als einen Theil des Bodens anzusehen.

Die so als steifes Ganze angesehene Extremität wirkt nun in der Weise für die Ortsbewegung, dass sie mit ihrer Einfügungsstelle in den Rumpf einen Kreisbogen um das angestützte freie Ende als Mittelpunkt beschreibt und damit den Rumpf um die Länge der Sehne dieses Bogens weiter befördert.

Bei dieser Form der Verwendung der Extremitäten sind übrigens wieder zwei sehr wesentlich von einander verschiedene Unterarten anzuerkennen, deren Charakteristik in folgender Weise aufzustellen ist: Die Mittelebene des Körpers, welche diesen in zwei symmetrische Hälften theilt, wird bei der Lokomotion (nothwendige Schwankungen abgerechnet) stets in ihrer eigenen Fortsetzung fortbewegt; insofern kann sie mit ihrer Fortsetzung auch die Fortbewegungsebene genannt werden; gegen diese Ebene sind nun die Ebenen, welche durch die von den Extremitäten beschriebenen Kreisbogen bezeichnet sind, entweder annähernd parallel gestellt oder sie stehen annähernd rechtwinkelig zu derselben. Dieser Unterschied bedingt eine sehr beträchtliche Verschiedenheit in der lokomotorischen Aktion, und begründet damit die beiden oben angedeuteten Unterarten.

Die einfachere und deshalb leichter verständliche von diesen ist diejenige, welche in der zuerst angegebenen Weise zu Stande kommt; sie sei deshalb auch zuerst analysirt.

Ihr Vorkommen ist bei den Quadrupeden und bei dem Menschen am reinsten ausgesprochen. Das Auszeichnende für sie ist, dass durch die Extremitäten mit der Fortbewegung zugleich der Schwerpunkt des Körpers immer so unterstützt ist, dass er bei der wechselnden Aktion der

Extremitäten stets nur aus einer Unterstützungslage in die andere geführt wird. Am Leichtesten und Einfachsten ist dieses bei der Grundform des menschlichen Ganges zu erkennen. Wir gehen in der Weise, dass wir abwechselnd den einen und dann den andern Fuss mit dem Boden in Berührung haben, während der zweite Fuss nach vorn geführt wird; — der an dem Boden stehende Fuss unterstützt unterdessen den Schwerpunkt so lange, bis der andere Fuss mit dem Boden in Berührung gebracht und dadurch in den Stand gesetzt ist, nun seinerseits die Unterstützung des Schwerpunktes zu übernehmen. Der ganze Körper wird deshalb abwechselnd durch das eine und durch das andere Bein gestützt und die Vorwärtsbewegung kommt dadurch zu Stande, dass um den Mittelpunkt des aufgesetzten Fussgelenkes jedesmal der Femurkopf und mit ihm der ganze Körper in einem vertikal gestellten Kreisbogen nach vorn geführt wird. Die Vorwärtsbewegung besteht also in einer Reihenfolge von vertikalen Kreisbogen, welche ihre Mittelpunkte in den abwechselnd vor einander auf den Boden gesetzten Füssen haben, und welche parallel mit der Fortbewegungsebene liegen. Die Gliederung des Beines durch das Vorhandensein des Kniegelenkes ist für diese Form der Lokomotion, so weit es das Princip derselben angeht, von keiner Bedeutung. Man findet deshalb auch die Möglichkeit einer Vorwärtsbewegung vollständig gegeben unter Verhältnissen, welche eine Bewegung im Kniegelenke vollständig ausschliessen, wie in Fällen von absoluter Steifigkeit des Kniegelenkes, oder von Ersatz eines verlorenen ganzen Beines durch einen hölzernen Stab und nicht minder in Fällen künstlicher Steifung des ganzen Beines, wie bei dem Stelzengehen der Kinder.

Anmerkung: Bei dieser Aufstellung des Grundprincipes des menschlichen Ganges kann natürlich für jetzt nicht weiter Rücksicht darauf genommen werden, in wie weit bei dieser Fortbewegung der Schwerpunkt immer unterstützt wird, durch welche Mittel dieses geschieht und in welchen Zeiten eine solche Unterstützung nicht vorhanden ist. — Ebenso wenig kann hier berücksichtigt werden, welche Muskelaktionen für diese Bewegung nothwendig sind und in wie weit die Bewegungen des Kniegelenkes dabei mitwirken. — Dieses Alles kann erst bei der genaueren Analyse der Gehbewegungen ausgeführt werden. — Hier gilt es nur dem aufgestellten Grundprincipe seine Stellung unter den anderen Grundprincipien, welche in den verschiedenen Formen der Lokomotion gefunden werden, anzuweisen.

Für den Quadrupedengang gilt dasselbe Princip, welches so eben für den menschlichen Gang entwickelt worden ist; jedoch gibt sich dieses in der Ausführung etwas verwickelter wegen der vermehrten Zahl der Beine, aber auch andererseits wieder etwas einfacher, weil bei dieser Art der Vorwärtsbewegung die beständige Unterstützung des Schwerpunktes mehr verbürgt ist, als bei dem menschlichen Gange.

Die einfachste Form des Quadrupedenganges, welche in mancher Beziehung eine Aehnlichkeit mit dem menschlichen Gange zeigt, ist der Passgang. In diesem werden beide Beine derselben Seite gleichzeitig vorgesetzt; mit beiden wird dann der schon für den menschlichen Gang besprochene Bogen gleichzeitig (von jedem für sich) ausgeführt, während zugleich der Schwerpunkt durch die Verbindungslinie der beiden Füsse gestützt wird. Dann werden die beiden Beine der anderen Seite gleichzeitig vorgesetzt, um für sich dieselbe Aktion auszuführen u. s. w. Es ist selbstverständlich, dass dabei stets eine wechselnde seitliche Aequilibrirung stattfinden muss, welche indessen dadurch wesentlich erleichtert wird, dass die Füsse der Bewegungsebene sehr nahe niedergesetzt werden, so dass damit die seitlichen Aequilibrirungsschwankungen des Schwerpunktes auf ein sehr geringes Mass zurückgeführt werden.

Der gewöhnliche Quadrupeden-Schrittgang ist von dem Passgange dadurch verschieden, dass bei ihm ein gleichzeitiges Vorsetzen der diagonal zu einander gestellten Beine geschieht, also z. B. des linken Vorderbeines und des rechten Hinterbeines. Diese beiden führen dann zugleich den vertikalen Bogen (jedes natürlich für sich) aus. Unterdessen werden die beiden anderen Beine vorgesetzt und besorgen dann in gleicher Weise die Vorwärtsbewegung u. s. w. — Bei dieser Gangart kann der Schwerpunkt immer unterstützt sein; da nämlich bei der Ruhe, wo die vier Füsse die Eckpunkte eines Rechteckes *a b c d* Fig. 25 bezeichnen, die Schwerlinie in den Durchschneidungspunkt *p* der beiden Diagonalen fallen muss, welche man zwischen den Füssen ziehen kann, so wird auch nach Aufheben und Vorsetzen zweier Füsse, *a* nach *e* und *d* nach *f*, der Schwerpunkt immer noch durch die Diagonale *c b*, welche ruhen bleibt, gestützt bleiben können; die andere Diagonale ist von *a d* nach *e f* vorgerückt und verbindet die beiden Beine, welche, vorgesetzt, jetzt den Schritt auszuführen haben; wird nun zuerst durch die Beine *b* und *c* der Schwerpunkt in der Richtung der Diagonale *b c* auf den neuen Durchschnittspunkt *p'* geführt, so ist er wieder durch beide Diagonalen unterstützt, und kann dann nach Aufheben der Beine *b* und *c* in der Diagonale *e f* seitlich vorwärts geführt werden bis *p''*; — während dessen haben dann die Beine *b* und *c* in *g* und *h* den Boden wieder erreicht und der Punkt *p''* ist dann bezeichnet als der Durchschneidungspunkt der neuen Diagonale *g h* mit der Diagonale *e f*, in welcher die Vorwärtsbewegung geschah; — die weitere Vorwärtsbewegung wird nun in der Richtung der Diagonale *g h* gegen *h* zu geschehen,

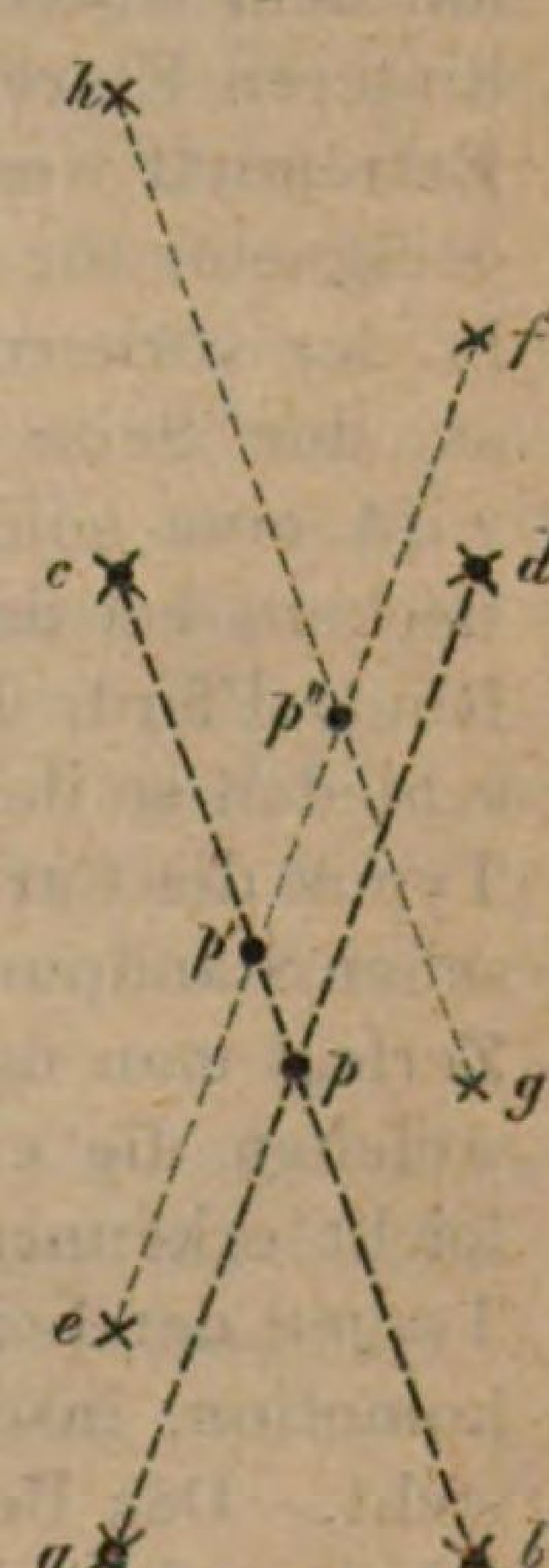


Fig. 25.

während die beiden in *e* und *f* stehenden Füsse vorgesetzt werden und damit ihre Diagonale wieder nach vorn verschieben etc. Die hiermit gegebenen seitlichen Schwankungen des Schwerpunktes müssen nothwendig um so grösser sein, je breitspuriger der Gang ist; sie werden deshalb verhältnissmässig gering ausfallen, wenn die Füsse ziemlich nahe der Fortbewegungsebene niedergesetzt werden. Letzteres ist z. B. bei Pferden der Fall, während Rinder breitspuriger und deshalb schwankender gehen.

Anmerkung: Obige Darstellung gibt allerdings das Grundprincip derjenigen Quadrupedenbewegung an, bei welcher die Beine zugleich als Stützen die Schwere des Rumpfes tragen. Indessen ist sie doch nicht genau, denn abgesehen von der hier nicht weiter zu berücksichtigenden Aktion der inneren Gliederung des ganzen Beines ist doch noch eine Modifikation der oben gegebenen Darstellung zu beachten, welche, wenn sie auch an dem Grundprincipe der doppelten Bogenbewegung parallel der Fortbewegungsebene nichts ändert, doch wegen des Vergleiches mit der menschlichen Gehbewegung Bedeutung gewinnt. — Es wurde nämlich die Vorwärtsbewegung der beiden diagonal einander gegenüberstehenden Extremitäten als gleichzeitig bezeichnet. Genauere Beobachtung zeigt indessen, dass das betreffende Vorderbein um einen kleinen Zeittheil früher niedergesetzt wird, als das mit ihm arbeitende Hinterbein. — Dieser Umstand ist scheinbar geringfügig und wird deshalb auch gewöhnlich übersehen; aber er verdient doch darum Beachtung, weil er auf das Engste im Zusammenhange steht mit dem Unterschiede in der funktionellen Bedeutung der vorderen und der hinteren Extremität. — Es ist nämlich nicht zu verkennen, dass die hintere Extremität wegen ihrer innigeren Verbindung mit der Wirbelsäule ungleich geeigneter für die Lokomotion erscheint, als die vordere, welche bekanntlich in der vorherrschend grossen Mehrzahl der Thiere nur in die Muskulatur an der Seite des Brustkorbes eingeschaltet ist. Wesentlich unterstützt wird eine solche Auffassung noch durch das verschiedene Verhalten des Beckens bei den Quadrupeden. Bei den schwerfälligen Thieren (Elephant, Rind, Pferd, Rhinozeros, Nilpferd) findet man nämlich das Hüftbein entschieden steiler gestellt, als bei den flüchtigeren, schlankeren, als deren Typus die Carnivoren dastehen. Das erstere Verhältniss ist mehr vom statischen Standpunkte aus zu verstehen, das letztere mehr vom mechanischen. — Zerlegt man nämlich die Richtung des Hüftbeines in zwei Komponenten, von welchen die eine horizontal, die andere vertikal gelegen ist, so wird man leicht erkennen, dass die vertikale mehr Bedeutung für das Stützen und Tragen der Leibeslast gewinnt, — die horizontale dagegen mehr für die Lokomotion, insofern sie tangential zu dem Fortbewegungsbogen der Extremität steht. Das Becken jener schwerfälligeren Thiere ist daher mehr nach statischen und dasjenige der flüchtigeren mehr nach den mechanischen Principien der Lokomotion gebaut. In diesem Verhältniss ist schon genügend angedeutet, wie gerade die mit dem Becken in nächster Beziehung stehende hintere Extremität als vorzugsweise lokomotorische anzusehen ist. — Mit der angegebenen verschiedenen Bedeutung des Beckens steht auch die Lebensweise der betreffenden Thiere in nächster Beziehung. — Jene schweren Herbivoren bringen einen sehr grossen Theil ihrer Zeit stehend mit Fressen zu und haben dabei ausser ihrer Leibeslast auch noch den gefüllten grossen

Magen und Darm zu tragen, während dagegen die Carnivoren entweder liegen oder sich im raschen Laufe bewegen; liegen sie ja doch auch bei dem Fressen vorzugsweise gern. — Interessant ist es zu weiterer Bestätigung des Gesagten, dass solche Thiere, welche ihre hinteren Extremitäten mit ganz besonderer nachhaltiger Kraft anwenden müssen, wie die grabenden (Talpa, Dasypus), nicht nur ein sehr horizontal gelegenes Becken haben, sondern zum Theil sogar auch das Sitzbein mit der Wirbelsäule vereinigt zeigen. — Auch die Phoken, welche bei ihrer Lebensweise im Wasser, so zu sagen, gar keine Leibeslast zu tragen haben, besitzen ein auffallend horizontales Becken, welches besonders geeignet ist, die Ruderstösse der hinteren Extremität der Wirbelsäule mitzutheilen.

Wenn sich also die hintere Extremität als die vorzugsweise lokomotorische aufdrängt, so darf wohl die Frage entstehen, welche Bedeutung dann für die Lokomotion der vorderen Extremität zu geben sein möge. Für Beantwortung dieser Frage ist erst noch auf eine Eigenthümlichkeit des menschlichen Ganges aufmerksam zu machen, welche hierfür wichtig wird. Wir pflegen im Gehen das eine Bein, welches gerade vorgestellt wird, so weit nach vorn auf den Boden aufzusetzen, dass es die Schwerlinie nicht unmittelbar aufnehmen kann; die fortgesetzte Aktion in dem nach hinten gestellten Beine schiebt erst nachträglich den Schwerpunkt über den vorn stehenden Fuss, und somit erscheint also in diesem Theile des Schrittes das nach hinten gestellte Bein als das eigentlich bewegende, und das nach vorn gestellte so lange nur als eine Stütze, welche die Schwere tragen hilft, bis ihm selbst die ganze Schwere übergeben ist, wo es denn seinerseits die weitere lokomotorische Aktion übernimmt. — Vergleicht man hiermit den Umstand, dass das Vorderbein des Quadrupeden bereits auf den Boden aufgesetzt ist, wenn das diagonal gegenüberstehende Hinterbein erst den Boden berührt, so ist es unschwer, dieses Vorderbein dem bei dem menschlichen Gange vorgesetzten Beine in seiner Funktion als Stütze während der eigentlich wirksamen Aktion des hinteren Beines zu parallelisiren, — und es ist daraus zu erkennen, dass man nicht das Alterniren von je zwei gleichnamigen Beinen bei dem Quadrupeden dem Alterniren der einzelnen Beine des Menschen zu vergleichen hat; — sondern dass man in dem Zusammenwirken eines Vorderbeines mit einem Hinterbeine das Verhältniss des menschlichen Ganges wiedergegeben findet, jedoch allerdings mit dem Unterschiede, dass der Schwerpunkt nie ganz auf dieses Vorderbein hingeschoben wird.

Dieser Auffassung des Vorderbeines, beziehungsweise des vorgestellten Beines des Menschen nur als transitorische Stütze widerspricht der Umstand nicht, dass in dieser Extremität gleichzeitig eine mehr oder weniger starke Aktion stattfinden kann, welche der Thätigkeit der eigentlich bewegenden Extremität Beihülfe gewährt.

Die zweite Hauptform der Anwendung der bogenförmigen Bewegung der ganzen Extremität ist diejenige, bei welcher die Bogenbewegung in horizontaler Richtung geführt wird, so dass die damit beschriebene Ebene seitlich senkrecht gegen die Fortbewegungsebene gestellt ist. — Hierbei kann natürlich von einer Unterstützung des Schwerpunktes durch die Extremitäten nicht die Rede sein, wenigstens nicht in dem Sinne,

wie dieses bei der zuletzt untersuchten Art der Fortbewegung der Fall ist. — Es ist deshalb die Nothwendigkeit vorhanden, dass der Schwerpunkt auf irgend eine andere Weise unterstützt werde. Wie dieses zu Stande gebracht wird, wird sich in dem Folgenden schon ergeben. Zuerst ist zu untersuchen, wie jene horizontale Bogenbewegung der Extremität überhaupt zu Stande kommen kann. Bei der vorher untersuchten Art der Fortbewegung kommt die bogenförmige Aktion der Extremität dadurch zu Stande, dass die Extremität mit ihrem Fussende (an den Boden) angestemmt wird und dass sodann ihr Beckenende (*caput femoris*), beziehungsweise Schulterende (*caput humeri*), einen Kreisbogen um den Anstemmungspunkt als Mittelpunkt beschreibt und dabei das Becken, beziehungsweise den Schultergürtel, mitnimmt. In gleicher Weise muss nun auch bei der horizontalen Bewegung die Vorwärtsbeförderung zu Stande kommen, indessen gestaltet sich hier das Verhältniss etwas anders, weil die Ausführung dieser Bewegung eine sehr erhebliche Schwierigkeit findet, welche sie sogar unter gewissen Verhältnissen vollständig unmöglich macht. Ein Vergleich wird dieses am Leichtesten erläutern. Wir wollen z. B. zwischen zwei aufgerichteten Stangen hindurch gehen und uns dafür der Thätigkeit unserer Arme bedienen. Wir stellen uns so vor die Stangen hin, dass wir sie beide mit gestrecktem Arme erfassen können und umgreifen sie mit den Händen. Das Schultergelenk ist jetzt jederseits um Armslänge von der Stange entfernt. Wir gelangen nun gerade zwischen beide Stangen und beide Schultergelenke sind nun den Stangen sehr nahe. Vorwärtsdringend kommen wir dann allmälig an eine Stelle, an welcher die Schultergelenke wieder um Armslänge von den Stangen entfernt sind. Bei dieser Bewegung haben wir stets die Stangen mit den Händen festgehalten, haben also um die Fixirungspunkte derselben mit jedem Arme einen horizontal gelegenen Kreisbogen beschrieben. Mit steifem (im Ellenbogengelenk gestreckt gehaltenem) Arme wäre uns dieses nicht möglich gewesen, weil alsdann das rechte Schultergelenk auf das linke hingedrückt, vielleicht sogar über dasselbe hinaus nach links verschoben worden wäre, und ebenso das linke Schultergelenk nach rechts. Die Ausführung dieser Bewegung ist auch nur dadurch möglich geworden, dass wir, je mehr wir uns den Stangen genähert haben, um so mehr den Ellenbogen gebeugt haben und allmälig bei der Entfernung von den Stangen wieder in die Streckung übergegangen sind. Wir haben also um den Fixirungspunkt der Hand einen Kreis beschrieben, dessen Radius allmälig abnahm und dann wieder zunahm, so dass der Bogen dieses Kreises eine gerade Linie wurde, welche die Sehne ist zu dem Bogen, welchen der grösste Radius beschrieben haben würde. — Mit steifem Arme würde uns indessen die Bewegung doch möglich gewesen sein, wenn die Stangen elastisch nachgiebig gewesen wären, so

dass der Gegendruck des Schultergelenkes sie immer um Armslänge von dem Rumpfe entfernt gehalten hätte. In diesem Falle hätte die Verschiebung des Mittelpunktes dieselbe Wirkung gehabt, einen geradlinigen Bogen hervorzubringen. — Die Verschiebung des Mittelpunktes kann in zweierlei Weise zu Stande kommen (vgl. Fig. 26), nämlich entweder, wie in *A* gerade nach aussen, oder wie in *B*, wo die verschiedenen Richtungen des Radius sich in einem Punkte schneiden und das fixirte Ende in einer Art von Kreisbewegung jenseits dieses Durchkreuzungspunktes herumgeführt wird; in *B* ist als dieser Durchkreuzungspunkt die ursprüngliche Stellung des Fixirungspunktes gewählt. Aeussere Umstände müssen es natürlich bestimmen, ob in einem gegebenen Falle die eine oder die andere Art des Ausweichens ihre Anwendung findet, oder auch etwa eine unreine Mittelform zwischen beiden.

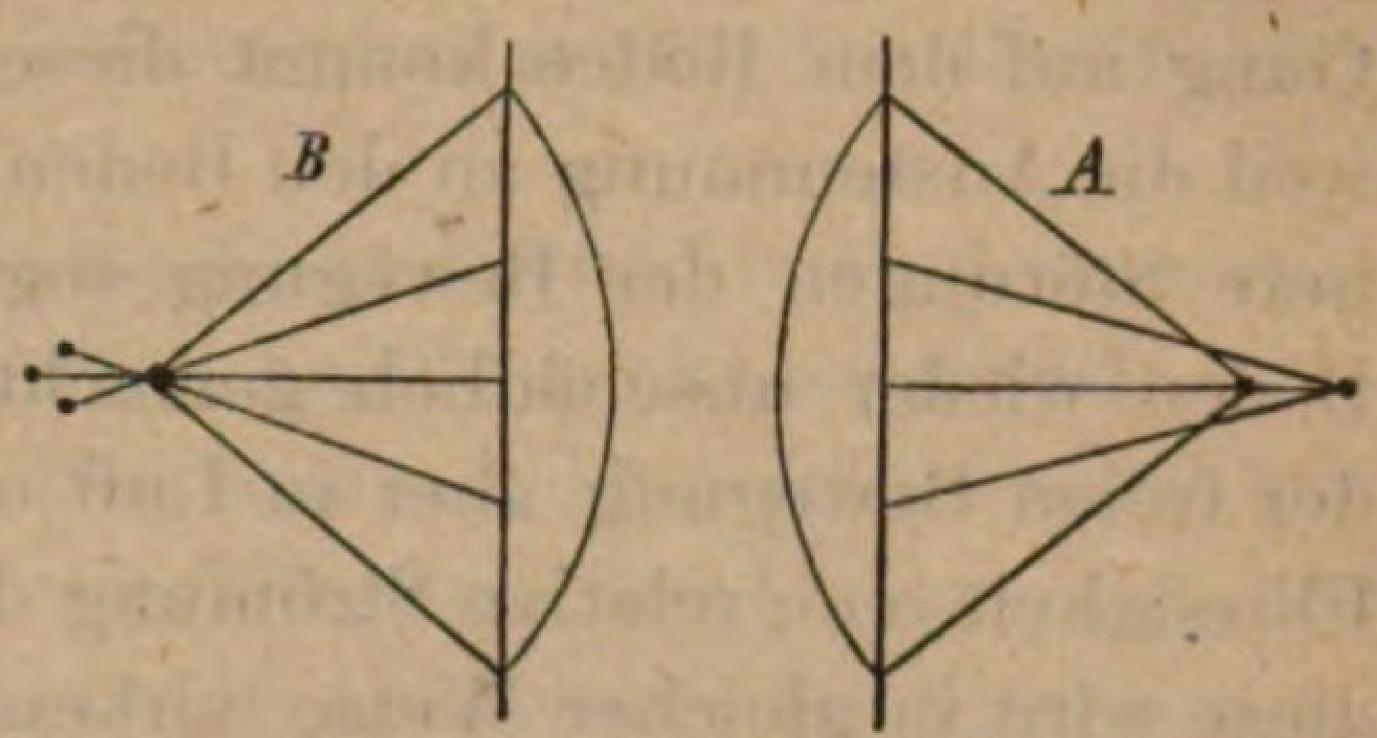


Fig. 26.

Das gegebene Beispiel belehrt darüber, dass die Vorwärtsbewegung des Rumpfes durch horizontale (senkrecht gegen die Fortbewegungsebene gestellte) Bogen nur dann möglich ist, wenn der Stützpunkt der Extremität dem Gegendrucke des Rumpfes ausweichen kann. Sie kann deswegen nur stattfinden in nachgiebigen Medien, welche nicht, wie der feste Boden einen absoluten Stützpunkt gewähren. Als solche Medien stehen aber da: die Luft, das Wasser und der lockere Boden, und die Bewegungen selbst werden dann, je nach dem Medium, bezeichnet als Flugbewegung, Schwimmbewegung oder Wühlbewegung (Maulwurf).

Es ist nunmehr auch deutlich, wie bei dieser Form der Fortbewegung der Schwerpunkt unterstützt wird. Bei dem Maulwurfe liegt der Körper auf dem Boden auf; bei dem Fische ist gar keine Schwere vorhanden, weil sein specifisches Gewicht durch die Schwimmblase (und auch wohl Fett) mit demjenigen des Wassers ausgeglichen ist; und bei dem Vogel wirken theilweise die Flügel als Fallschirme, theilweise wirkt eine nach unten gerichtete Komponente des Flügelschlages bei einer jeden Aktion des Flügels als eine Art von Sprungbewegung erhebend auf den zwischen den Flügelschlägen etwas hinabgesunkenen Rumpf.

In Bezug auf diese Form der Bewegung wird sich nun auch die Frage aufstellen lassen, welche der beiden Extremitäten für dieselbe die geeignetere sei. Sieht man nur das Verhältniss der Extremitäten für sich an, so sollte man nicht einsehen, warum nicht auch für diese Form die hintere Extremität als diejenige, welche den unmittelbarsten Einfluss auf

die Wirbelsäule hat, die geeignetste sein sollte. Dieses ist aber nicht der Fall, denn es ist hier dasselbe Verhältniss wie beim Klettern; was bei diesem die Schwere, das ist bei den angeführten Bewegungen der Widerstand des Mediums, in welchem dieselben ausgeführt werden. Bei dem Gang auf dem Boden kommt dieser Widerstand weniger in Rücksicht, weil die Anstemmung an den Boden eine sehr feste ist, und etwaige kleinere Störungen der Bewegung sogleich durch die Berührung mit dem Boden wieder unschädlich gemacht oder korrigirt werden können. Bei der freien Bewegung aber in Luft oder Wasser bewirkt die Theilung der Flüssigkeit eine relative Strömung dem bewegten Körper gegenüber und diese wird in gleicher Weise wirken, wie die wirkliche Strömung eines Flusses. Ein Kahn, welcher mit seinem hinteren Ende an einen Pfahl gebunden ist, und mit seinem vorderen Ende gegen den Strom gestellt ist, könnte wohl, an den Pfahl angestützt, ruhig liegen, aber die geringste Verschiebung der Spitze nach der Seite gibt sogleich der Strömung die Möglichkeit, den Kahn in einer Kreisbewegung um den Pfahl herumzuwerfen, und er kommt erst dann zur Ruhe, wenn sein Schwerpunkt in der Richtung der Strömung unterhalb des Pfahles ist. Hat er diese Lage eingenommen, so kann eine recht beträchtliche seitliche Verschiebung vorgenommen werden und nach derselben stellt sich sogleich durch den Druck der Strömung die frühere Lage wieder her. — Es ist nicht zu verkennen, dass hier Verhältnisse sind, welche sich ohne Weiteres dem labilen und dem stabilen Gleichgewichte, wie dieses als durch die Schwere bedingt beschrieben wird, vergleichen lassen.

Hierdurch erklärt es sich auch sehr leicht, warum ein Kahn, welcher die Ruder an seinem hinteren Ende hat, schon im ruhigen Wasser, aber mehr noch, wenn er gegen eine Strömung geführt werden soll, bei der geringsten Ungleichmässigkeit in der Aktion der beiden Ruder sich seitlich umdreht, während er, mit den Rudern an dem vorderen Ende bewegt, niemals in eine solche Drehbewegung geräth.

In gleicher Weise ist auch offenbar die Flug- und die Schwimmbewegung nur dann eine möglichst ruhige und ungestörte, wenn sie durch die vorderen Extremitäten ausgeführt wird, und sie hat darin eine entschiedene Aehnlichkeit mit der Kletterbewegung; wenn daher nur ein Paar von Extremitäten allein dazu verwendet werden soll, so muss es die vordere sein, und allerdings ist auch der Flügel des Vogels und die wirksamste Flosse des Fisches, die Brustflosse, die vordere Extremität dieser Thiere. Bei den Fischen finden wir sogar den Schultergürtel an den Hinterkopf angelehnt, so dass dieser zum Nutzen der Lokomotion ebenso unmittelbar auf die Wirbelsäule einwirken kann, wie das Becken bei den Quadrupeden.

Was von dem Vogel und dem Fisch gesagt ist, gilt in gleicher Weise von dem Maulwurf, welcher auch, wie der Vogel in der Luft und der Fisch im Wasser, so in dem lockeren Boden gewissermassen schwimmt. Auch bei ihm sind es die vorderen Extremitäten, welche, als Wühlschaufeln flossenartig eingerichtet, seine Lokomotion durch den Boden vermitteln.

Wenn Thiere, welche nicht auf beständige Schwimmbewegungen eingerichtet sind, gelegentlich dazu kommen, im Wasser zu schwimmen, so verhalten sie sich sehr verschieden. — Die Quadrupeden machen eigentlich gar keine Schwimmbewegung, sondern sie führen nur ihre Gehbewegungen unter Wasser aus und wenn sie dabei mit Ausnahme des Kopfes ganz unter Wasser sind, so genügt diese Bewegung, sie mit dem Kopfe über dem Wasserspiegel zu halten und sie zugleich in einer bestimmten Richtung vorwärts zu befördern. — Schwimmende Vögel sind natürlich darauf angewiesen, ihre hinteren Extremitäten dazu zu verwenden. Sie vermeiden indessen die Nachtheile, welche nach oben Entwickeltem damit verbunden sein müssen durch verschiedene Einrichtungen, für's Erste ist der Vogelleib verhältnissmässig kurz und deshalb in geringerem Masse den Nachtheilen des labilen Gleichgewichtes ausgesetzt, — dann ist auch die breite Basis ihrer Schwimmfüsse eine Erschwerung für die unwillkührliche Umdrehung; — und ferner bewegen sie die beiden Beine abwechselnd, wodurch sie eine Korrektion der Richtung sehr leicht bewerkstelligen können; hat z. B. das rechte Bein dem ganzen Rumpfe eine Richtung gegeben in der Art, dass eine Drehung nach links daraus hervorgehen könnte, so korrigirt ein entsprechender Schlag mit dem linken Beine diese Richtung sogleich wieder; — dabei ist zu beachten, dass sie nur den Fuss allein oder den Fuss mit dem Mittelfuss anwenden, demnach niemals sehr kräftige Stösse ausführen, wogegen sie durch eine rasche Folge kleinerer Aktionen den gleichen Erfolg erzielen. Im Ganzen kann man auch von ihnen sagen, wenn es auch nicht genau zutreffend ist, dass ihre Schwimmbewegungen rasche und unvollständige Gehbewegungen sind.

Der schwimmende Frosch verwendet seine vorderen Extremitäten, indem er sie nach dem Schema des horizontalen seitlichen Bogens bewegt; gleichzeitig aber macht er mit den mächtigen Hinterbeinen eine Sprungbewegung und fördert sich auf diese Weise sehr rasch. — Wir finden hier eine interessante Vereinigung eigentlicher Schwimmbewegung mit der eigentlich für den festen Boden bestimmten Bewegung. — Das Gleiche finden wir bei dem Menschen; auch dieser wendet die Arme gerade gestreckt für die eigentliche Schwimmbewegung an und verbindet damit einen Sprungstoss der Beine. — Beim Menschen findet übrigens, wie auch bisweilen beim Frosche, wohl auch eine alternirende Aktion

der beiden Beine statt, so dass damit die Gehbewegung als theilnehmend an der schwimmenden Lokomotion eingeführt ist. In ähnlicher Weise muss auch der Maulwurf seine Wühlbewegungen durch Nachdrängen mit den Hinterbeinen unterstützen. — Eine zweite Methode des Schwimmens für den Menschen ist die, dass er den Quadrupedengang nachahmt und demnach nicht nach dem Vorbilde des Frosches schwimmt, sondern nach demjenigen des Hundes und des Pferdes. Es soll diese Methode eine Eigenthümlichkeit der Slaven sein; bei Naturalisten im Schwimmen kann man sie auch häufig finden.

Anmerkung: Eine sonderbare Mischform der Fortbewegung findet man bei Sauriern, Urodelen und verwandten Thieren. Eigentlich haben sie, und zwar sowohl in den hinteren als in den vorderen Extremitäten, die Fortbewegung mit Hülfe der horizontalen Bogen, und doch setzen sie die Füsse nach Art der Quadrupeden auf den Boden; — aber der Oberschenkel liegt, ebenso wie der Oberarm, horizontal nach aussen, und ist im Knie (Ellenbogen) stark gebeugt, desgleichen ist der Fuss stark gebeugt gegen den Unterschenkel. Der Oberschenkel (Oberarm) ist dadurch in den Stand gesetzt, den horizontalen Bogen auszuführen und das Ausweichen des Mittelpunktes der Bewegung gewähren die Knie- und Fussbeugungen. — Die Schwere wird dabei entweder, wie bei den Eidechsen, federnd durch die Beine getragen; oder der Rumpf rutscht, wie bei Salamandra, auch wohl auf dem Boden hin.

Das freie Ende der in besprochener Weise wirkenden vorderen Extremität bildet allerdings in seiner relativen Anstemmung einen ausweichenden Mittelpunkt der Bewegung, aber das Ausweichen ist nicht ein freiwilliges oder durch eine besondere Thätigkeit hervorgebrachtes, sondern es ist die Folge des rückwirkenden Widerstandes des Rumpfes. In Uebereinstimmung hiermit findet man deshalb auch bei denjenigen Thieren, welche ihre vordere Extremität in der angegebenen Weise verwenden, eine solche Einrichtung des Schultergürtels, dass dieser im Stande ist, den ursprünglich gegen ihn gerichteten Stoss (einwärts wirkende Komponente des Bewegungsbogens) unschädlich aufzunehmen und als Rückstoss zurückzugeben. Bei Fischen und Amphibien ist der Schultergürtel beckenartig fest gebaut und kann federnde Rückwirkung äussern. Bei den Vögeln nimmt das starke Korakoidbein, welches durch Einfalzung fest mit dem Brustbeine verbunden ist, den Stoss des Oberarmes, welcher mit ihm und der Skapula artikulirt, direkt auf und die dem Schultergelenke innen anliegende Furkula gibt durch ihre Elasticität den Stoss zurück. Bei dem Maulwurfe ist das Schlüsselbein an der Bildung des Schultergelenkes betheiligt und nimmt somit auch direkter den Druck des Oberarmes auf. — Man versteht hierdurch auch die Bildung des minder vollkommen organisirten Schlüsselbeines des Menschen und solcher Thiere, welche ihre vorderen Extremitäten freier gebrauchen. Es ist nämlich geeignet,

gelegentlich ein Einwärtsdrängen des Schultergelenkes aufzunehmen und damit alle Bewegungen der vorderen Extremität sicherer zu machen.

Anmerkung 1: In dem Obigen wurde die wirkende Extremität, insbesondere die in der besprochenen Weise vorzugsweise wirkende vordere Extremität immer so aufgefasst, als ob sie als steifes Ganze wirkend mit ihrem freien Ende sich an das Medium, in welchem die Bewegung zu Stande gebracht wird, anstemme. Es musste dieses im Interesse präciserer Herstellung des Principes geschehen. Indessen ist dabei für die Mehrzahl der Fälle eine gewisse Ungenauigkeit, indem diejenigen Extremitäten, welche ausschliesslich für solche Art der Bewegung organisirt sind, als Ganzes flächenhaft wirken, und sich daher eigentlich mit ihrer ganzen unteren Fläche an das Medium stützen; so der Flügel, die Flosse und die Hand des Maulwurfes. — Gegen diese Auffassung kann nicht geltend gemacht werden, dass der Vogelflügel in drei grosse Gliedstücke zerfällt, welche sehr ausgiebige Bewegungsmöglichkeit gegen einander zeigen; denn in der Aktion wirkt der Flügel als Ganzes und nur im Ruhezustande faltet er sich in diese drei Theile zusammen; wie ja auch die Flügel der Käfer im Ruhezustande zusammengefaltet unter den Flügeldecken ruhen, und wie — ein Taschenmesser, wenn nicht gebraucht, zusammengeklappt ist, aufgeklappt für den Gebrauch aber ein steifes Ganze darstellt.

Anmerkung 2: In Bezug auf den Fisch will ich nicht bestreiten, dass derselbe seine Schwanzflossen nicht nur als Steuer, sondern gelegentlich als archimedische Schraube zur Vorwärtsbewegung anwende. Sieht man ja auch die Schwimmvögel bei langsameren Bewegungen ihre Schwimmfüsse in diesem Sinne anwenden. Indessen wird die oben skizzirte Auffassung überhaupt und diejenige des Schultergürtels der Fische insbesondere doch die Meinung rechtfertigen, dass die Brustflossen des Fisches das hauptsächlichste Bewegungsorgan desselben sind.

Anmerkung 3: Der Bau des Vogels ist vor demjenigen aller anderen Vertebraten dadurch ausgezeichnet, dass er ebenso tauglich organisirt ist für den Flug mit Hülfe der vorderen Extremitäten, wie für den Gang mit Hülfe der hinteren. Wenn auch gewisse Arten der Vögel mehr der einen, andere mehr der anderen Art der Lokomotion sich bedienen, so sind sie doch alle für beide Arten eingerichtet und bedienen sich derselben abwechselnd; nur bei den Struthioniden und Pinguinen sind die Flügel so abortiv, dass sie nicht zum eigentlichen Fliegen benutzt werden können, sondern nur zur flatternden Unterstützung des Ganges. — Es lässt sich aus diesem Umstande schon schliessen, dass der Bau des Vogels im Allgemeinen sehr beträchtliche Eigenthümlichkeiten haben werde und die Untersuchung des Knochengerüstes des Vogels lehrt auch, dass dieses der Fall ist. Der Rumpf desselben ist nämlich aus zwei sehr grossen starren Theilen zusammengesetzt, einem oberen (hinteren) und einem unteren (vorderen). Der erstere wird gebildet durch die kurze und fast unbewegliche Rumpfwirbelsäule, deren hintere Hälfte durch das sehr lange Becken so umschlossen ist, dass die Hüftbeine beider Seiten ein Dach bilden, mit welchem der von ihm gedeckte zum Kreuzbein metamorphosirte Theil der Wirbelsäule fest verbunden ist. Der zweite untere Theil ist durch das sehr lange und flächenhafte Brustbein gebildet, an welches sich nach vornen noch die Koracoidbeine und die Furkula anreihen. Beide Theile hängen durch die gegliederten Rippen unter einander

zusammen und über den der Wirbelsäule zunächst liegenden Theilen der Rippen liegt noch gewissermassen als hakenförmige Fortsetzuug des Brustbeingerüstes die Skapula. Beim Stehen und Gehen ruht Becken und Rumpfwirbelsäule auf den Beinen und wird auf diesen leicht äquilibrirt, weil der Rumpf kurz ist und wegen Beugung des Hüftgelenkes und des Kniegelenkes die stützende Tibia mit dem Metatarsus nach vornen gerückt ist. Das Brustbeingerüste mit seinen massigen Muskeln wird dann von der Wirbelsäule getragen. — Beim Fluge dagegen liegt das Brustbein nach unten und die ganze Masse des Rumpfes liegt auf demselben. Die Lage des Brustbeines ungefähr in der Mitte der Bauchseite macht es geeignet, die ganze übrige Last des Rumpfes äquilibrirt zu tragen; Hals mit Kopf vornen und Beine hinten können dann die Aequilibrirung ergänzen oder modificiren. So ist denn der fliegende Vogelleib gewissermassen ein Kahn (dargestellt durch das Knochengerüste des Brustbeins), an dessen vorderem Ende die Flügel als Ruder arbeiten.

Zurückblickend auf diese Uebersicht finden wir, dass der Mensch eine sehr grosse Vielseitigkeit der Bewegungen zeigt, während die meisten Thiere in dieser Beziehung sehr einseitig sind. Er kann die Arme zum Klettern und Schwimmen benutzen, mit den Beinen kann er diese beiden Bewegungsarten unterstützen, und kann mit Hülfe derselben springen und in verschiedener Weise gehen; nur der Quadrupedengang, den er bei einer Methode des Schwimmens mit Erfolg für die Lokomotion benutzt, wird wegen des Missverhältnisses der hinteren und der vorderen Ertremität auf festem Boden sehr erschwert, und auch den Flug der Vögel vermag er nicht nachzuahmen, weil ihm dazu die Organisation des Rumpf-Knochengerüstes fehlt; höchstens könnte er etwa mit Hülfe von ergänzenden Apparaten den Fledermausflug nachahmen, aber auch dieses wird die Grösse und Schwere der Beine nicht gestatten.

Die Gelenke.

In Bezug auf die Bildung der Gelenke kann es meine Aufgabe nicht sein, die Art, wie ein Gelenk zu Stande kommt, genauer zu beschreiben. Die hierher gehörigen Thatsachen sind aus der Anatomie bekannt genug.

Ebensowenig kann es am Platze sein, die verschiedenen Arten der Gelenkbildung, so weit sie durch die Gestalt der Gelenkflächen bestimmt werden, hier darzustellen, indem darüber in meinem Lehrbuche der Anatomie III. Aufl. S. 43—55 bereits das Nöthige dargelegt ist. Von etwas anderem, mehr mathematischen, Standpunkte aus behandelt diesen Gegenstand auch in eingehender Weise A. Fick, die medicinische Physik. II. Aufl. S. 42—56.

Ich habe nur in Kürze einige Punkte noch hervorzuheben, welche dort eine genauere Berücksichtigung nicht finden konnten und doch für die vorliegenden Untersuchungen von Wichtigkeit sind.

1. Reibungswiderstand.

Ein Punkt, welcher für die Beurtheilung der Gelenkbewegungen von grösster Wichtigkeit ist, ist der, dass der Reibungswiderstand der Gelenkflächen gleich Null zu setzen ist und dabei doch das satteste Anschmiegen der beiden Gelenkflächen an einander beobachtet wird. Im engsten Zusammenhange hiermit ist die ausserordentlich wichtige Thatsache, dass eine Abnutzung der Gelenkflächen durchaus nicht vorkommt, so lange nicht etwa entschieden pathologische Ursachen eine solche ermöglichen. — Die bezeichneten Verhältnisse finden alle ihren Grund in der Ueberkleidung der Gelenkfläche mit einer Knorpellage. Da der Knorpel eine Substanz ist von beträchtlicher rückwirkender Elasticität, so müssen die verschiedenen Druckkräfte, welche die Gelenkflächen auf einander drängen, eine sehr genaue gegenseitige Anpassung der beiden sich berührenden Flächen bedingen. Geschieht eine Bewegung der beiden Flächen auf einander, so muss ebenfalls die Elasticität der Knorpel-

6*

substanz, weil sie das gegenseitige Eingreifen der molekularen Rauhigkeiten der Oberfläche nicht zur Hemmung der Bewegung werden lässt, eine abnutzende Schleifung verhindern, indem die Widerstände wegen der Nachgiebigkeit der Masse dem Andrängen ausweichen, und dann durch die Elasticität eine *restitutio in integrum* statt findet[1]. — Dass die Befeuchtung der Knorpelflächen durch die überaus schlüpfrige Synovia, welche eine sehr dünne Zwischenschicht zwischen den Knorpelflächen setzt, dabei ganz besondere Vortheile gewährt, ist leicht ersichtlich. Als durchaus anpassungsfähige Zwischenschicht muss sie die satte Anlagerung der beiden Flächen sehr wesentlich unterstützen, und als überkleidende, die molekularen Rauhigkeiten ausgleichende Schicht muss sie das aus oben angeführtem Grunde schon sehr leichte Gleiten der Flächen auf einander noch so sehr erleichtern, dass dadurch der Reibungswiderstand in den Gelenken so unbedeutend wird, dass er gar nicht berücksichtigt zu werden braucht.

2. Adhäsion und Luftdruck.

Die bezeichnete Eigenschaft der Synovia muss wesentlich dazu beitragen, den gegenseitigen Anschluss der Gelenkflächen an einander nicht nur sehr genau passend zu machen, sondern ihm auch eine solche Innigkeit zu geben, dass dadurch eine Trennung erschwert wird. Mit Recht macht daher Rose[2] darauf aufmerksam, dass die auf solche Weise gegebene »Adhäsion« der Gelenkflächen einen nicht zu übersehenden Antheil hat an den Kräften, welche die Gelenkflächen an einander halten. Wenn er übrigens hierin so weit geht, die Einwirkung des Luftdruckes für das Zusammenhalten der Gelenke gänzlich läugnen zu wollen, so übersieht er dabei, dass doch sehr beweisende Thatsachen vorliegen, welche den Einfluss des Luftdruckes ausser Zweifel setzen. Indessen ist es allerdings richtig, dass man seit der bekannten Arbeit der Gebrüder Weber diesen Einfluss viel zu einseitig überschätzt hat, und ich habe

1) Die Wichtigkeit der Eigenschaften des Knorpels für die Nicht-Abnutzung der Gelenkflächen geht am deutlichsten daraus hervor, dass nach Verlust der Knorpel eine beträchtliche Abschleifung der Gelenkenden wirklich stattfindet, wenn nicht ein Knorpel-Surrogat durch eine Bindegewebeschichte gegeben wird. — Vgl. III. 3. — III. 6. — III. 7. — Ich darf übrigens bemerken, dass es mir doch zweifelhaft geworden ist, ob eine Verknöcherung des in normaler Gestalt verbleibenden Gelenkknorpels in solchem Umfange vorkommt, dass er eine verknöcherte Oberfläche zur Schleifung darbietet, und ob nicht, damit eine Schleifung einfacher Form entstehe, Verlust eines Theiles des Gelenkknorpels durch Erweichung nothwendig sei.

2) Die Mechanik des Hüftgelenks. Reichert und Dübois Archiv 1865. S. 521.

mich in diesem Sinne auch bereits in der ersten Auflage meines Lehrbuches (S. 38) geäussert. — Eine direkt die Gelenkflächen auf einander drückende Eigenschaft kann ja der Luftdruck natürlich nicht haben. Seine Wirkung kann nur sein, dass durch ihn die Wandungen der Gelenkhöhle so zusammengedrückt werden, dass eine klaffende Höhle gar nicht vorhanden ist. Zunächst muss er nur alle nachgiebigen Weichtheile nach dem Inneren der Gelenkhöhle drängen; daher werden die Kapseltheile zur Seite der Gelenkflächen auf diese hingedrängt, so dass sie sich eng an dieselben anlegen; wird durch Uebertreibung einer Bewegung ein einseitiges Abheben von Gelenkflächen gegeben, so wird, wenn das Gelenk dicht unter der Haut ist, die Haut über der Gelenkspalte rinnenförmig eingesenkt, weil sie durch den Luftdruck ebenfalls nach der Spalte hin gedrängt wird. Man kann dieses deutlich wahrnehmen an dem Kniegelenke neben der Patella bei gewaltsamer Beugung, und ebenso an dem Metakarpo-Phalangal-Gelenke des Daumens. — Direkt für das Aufeinanderdrängen der Knochen in den Gelenken kann der Luftdruck so wenig thun, dass wir uns sogar denken können, dass er bei solchen frei unter der Haut liegenden Gelenken trennend für die Knochen werden könnte; wäre nämlich die Verbindung zweier Knochen durch die Weichtheile eine so schlaffe, dass sie eine gewisse Strecke weit von einander entfernt werden könnten, so würde der Luftdruck die Kapsel zwischen den Gelenkenden flach zusammendrücken und die Vereinigung beider Gelenkflächen dadurch verhindern. — Das Aneinanderschliessen der Gelenkflächen durch den Luftdruck wird deshalb nur als Theilerscheinung der Kompression der Gelenkhöhle durch dieses Agens auftreten, und setzt voraus, dass der wenigstens annähernde Schluss bereits durch andere Kräfte gegeben ist, welche dann durch den Luftdruck in ihrer Wirkung unterstützt werden. Eine direkte Einwirkung auf den einen oder beide Knochen kann der Luftdruck nur dann haben, wenn der Zutritt des Luftdruckes nach der Gelenkhöhle in keiner anderen Weise möglich ist. Ueber dieses Verhältniss und das oben gedachte kann man sich das beste Bild durch folgenden Vergleich machen: Man nehme eine Injektionsspritze, deren Saugrohr verstopft sei und ziehe den Stempel hinauf; ist derselbe in eine gewisse Entfernung von dem Boden der Spritze gebracht, so befindet sich zwischen beiden das Vakuum, dessen Ausfüllung durch den Luftdruck zu geschehen hat. Wäre die Wand der Spritze weich und nachgiebig, also z. B. ein Stück Darmrohr, so werden Boden und Stempel von einander entfernt bleiben und das Darmrohr flach zusammengedrückt wie ein Band zwischen beiden liegen; und es würde sogar gar nicht einmal möglich sein, Boden und Stempel einander zu nähern. Wäre dagegen die Wand der Spritze starr, so würde der Luftdruck den Stempel wieder zum Boden hinabdrücken. — Man denke

sich nun statt der beiden festen Stücke, Boden und Stempel, zwei auf einander passende Gelenkenden; sind diese durch eine lose Kapsel unter einander verbunden und hängt der eine Knochen an dieser Kapsel, welche man sich zu ihrem vollen Lumen entfaltet, aber mit einem Vakuum im Inneren vorstellen mag, so wird der Luftdruck nur die Kapsel von den Seiten zusammendrücken und die Knochen einander nicht nähern, wenn die Umgebung der Kapsel entsprechend nachgiebig ist; — ist dagegen die Umgebung der Kapsel starrer und nicht von den Seiten her zusammendrückbar, so muss der Luftdruck den einen Knochen an den anderen andrängen. In dem ersten Falle würde also der Luftdruck nicht den Aneinanderschluss der Gelenkflächen vermitteln können, wohl aber in dem letzteren Falle. — Nehmen wir nun aber für den ersten Fall wieder an, es wären andere Kräfte da, welche die Berührung der Gelenkflächen zu Stande bringen, und lassen wir nun irgend eine Gewalt die Gelenkenden ein wenig auseinanderziehen, so dass ein spaltenförmiges Vakuum entsteht; in diesem Falle würde der Luftdruck das Vakuum von der Seite her nicht ausfüllen können, weil er das dazu nöthige Material nicht durch die Ränder der Spalte hineindrängen könnte und er würde dann die Knochen direkt auf einander drängen. Das Gleiche würde auch der Fall sein, wenn die Knochen durch irgend welche Umstände einander sehr nahe lägen und ein Vakuum zwischen ihnen wäre.

Näher nun auf die Frage der Einwirkung des Luftdruckes auf die Gelenke einzugehen, so lässt sich aus dem Besprochenen erkennen:

1) dass der Luftdruck nicht direkt die Gelenkflächen auf einander drängt, sondern nur überhaupt das Vakuum des Gelenkes ausfüllt;

2) dass zu dieser Ausfüllung allerdings auch die Gelenkenden der Knochen verwendet und dadurch auf einander gedrängt werden können;

3) dass dieses aber nur der Fall ist, wenn nicht seitliche Ausfüllung durch Weichtheile möglich ist;

4) dass diese letztere Bedingung gegeben ist, wenn durch andere Kräfte (straffere Bänder, Muskelzug) die Gelenkflächen nahe an einander gehalten oder in Berührung gebracht sind, — oder wenn die umgebenden Theile zu starr oder in zu dicker Schichte vorhanden sind, wie dieses bei sehr tief liegenden Gelenken (*processus obliqui* der Wirbel) der Fall ist;

5) dass demnach der Luftdruck nur unterstützend für den auf andere Art zu Stande gebrachten Schluss der Gelenke einwirken kann und nur etwa bei sehr tief liegenden Gelenken für sich allein für diesen Schluss genügen könnte;

6) dass er im Stande ist, kleinere Störungen der Kontiguität der Gelenkflächen wieder aufzuheben, wenn solche den anderen schliessenden Kräften gegenüber erzwungen sind; — wobei indessen nicht ausgeschlossen ist, dass seitliche Verschiebungen, sofern durch solche ein Vakuum nicht entsteht, doch zu Stande kommen können, wie dieses bei Muskellähmungen in dem Schultergelenke und bei den sekundären Lagerungen nach Luxationen der Fall ist.

Wenn es sich aber dennoch jeden Augenblick in überzeugender Weise auf dem Versuchswege darlegen lässt, dass der Luftdruck genügt, den freien Oberschenkelkopf mit der daran hängenden ganzen Last des Beines in der Pfanne festzuhalten, so ist zu bedenken, dass die Verhältnisse dieses Versuches ganz andere sind, als derselbe Versuch an einem anderen Gelenke dieselben bieten würde. Der Versuch bezieht sich weniger auf die Folgen des allseitigen Abschlusses der Gelenkhöhle, denn die Gelenkhöhle wird ja geflissentlich ringsum eingeschnitten, als auf das Verhältniss des *labrum cartilagineum*; — und in Bezug auf dieses zeigt er, dass sein Uebergreifen etwas über die grösste Peripherie des Schenkelkopfes genügend ist, den Lufteintritt in die Pfanne zu hemmen, so dass der Luftdruck (unterstützt durch Adhäsion und den Bandring des *labrum*) sich für Fixirung des Oberschenkelkopfes vollständig kann geltend machen; — das Fallen des Beines nach dem Lufteintritte zeigt dann, dass der Sehnenring und die Adhäsion für sich nicht genügen und dass der Luftdruck bei diesem Versuche allerdings das hauptsächlich Wirkende ist. Deshalb gelingt der Versuch auch gewöhnlich nicht mehr an einem etwas älteren Präparate, an welchem der Bandring, welk geworden, nicht mehr den nöthigen satten Anschluss an den Schenkelkopf besitzt. — Dieser Versuch ist daher eben, weil er sich nur auf die individuellen Verhältnisse des Hüftgelenkes stützt und diese erläutern hilft, nicht geeignet, ohne Weiteres durch Generalisirung massgebend für die Gesetze aller Gelenke zu werden.

3. Fixirende Kräfte.

Wenn nun untersucht wird, welche Kräfte das Aneinanderheften der Gelenkflächen vermitteln, so finden wir mit Rücksicht auf das oben Entwickelte zweierlei Kräfte besonders wirksam, nämlich:

die Widerstandskraft der Bänder,
die Kontraktion der Muskeln.

Was die Bänder angeht, so ist bereits in der Einleitung und dann in dem Abschnitte über die Elemente des Knochengerüstes bei Gelegenheit der Besprechung der »Kombinationen« darauf aufmerksam gemacht, wie in extremen Stellungen im Vereine mit einer anderen Kraft (Schwere,

Muskelkraft) die Bänderspannung die Gelenkflächen auf einander drücken muss. — Für sich allein müssen in ähnlicher Weise torquirte Bänder wirken, wie die Torsion der Hüftgelenkkapsel im aufrechten Stehen; freilich muss dabei die torquirende Gewalt beständig fortwirken (in dem eben gegebenen Beispiele die Schwere), aber sie wirkt doch nicht unmittelbar als Komponente mit auf das Gelenk. — Ferner muss hier noch an solche Bänder erinnert werden, welche so kurz sind, dass sie die Gelenkenden, wenn auch nicht an einander drücken, so doch so nähern, dass der Luftdruck den Anschluss vollenden kann; dahin gehören die *ligamenta lateralia* der Ginglymusarten und die straffen Bänder der Amphiarthrosen.

Die Muskelkontraktion erscheint in der zweierlei Gestalt der vitalen Kontraktion und der elastischen Gegenspannung. Beide sind in Bezug auf ihre Einwirkung auf das Gelenk einander völlig gleich zu stellen, indem sie als Zug an dem einen der beiden Knochen wirken. — Wenn man die Einwirkung der Muskeln auf das Gelenk beurtheilen will, so darf man niemals einen einzelnen Muskel ins Auge fassen, denn die in der Richtung des Hebelarmes thätige Komponente seiner Wirkung wird allerdings, so lange der Angriffswinkel ein spitzer ist, als Druck gegen die Axe wirken, aber sobald er ein stumpfer wird, wird sie als Zug von der Axe wegwirken[1]). — Man muss immer zwei Antagonisten zugleich berücksichtigen, welche in Bezug auf ihre Wirkung in verschiedenem Verhältniss zu einander stehen können, indem sie sein können

- beide in dem »Tonus« des Ruhezustandes,
- beide in vitaler Kontraktion,
- der eine in vitaler Kontraktion, der andere in Tonus, beziehungsweise elastischer Gegenspannung.

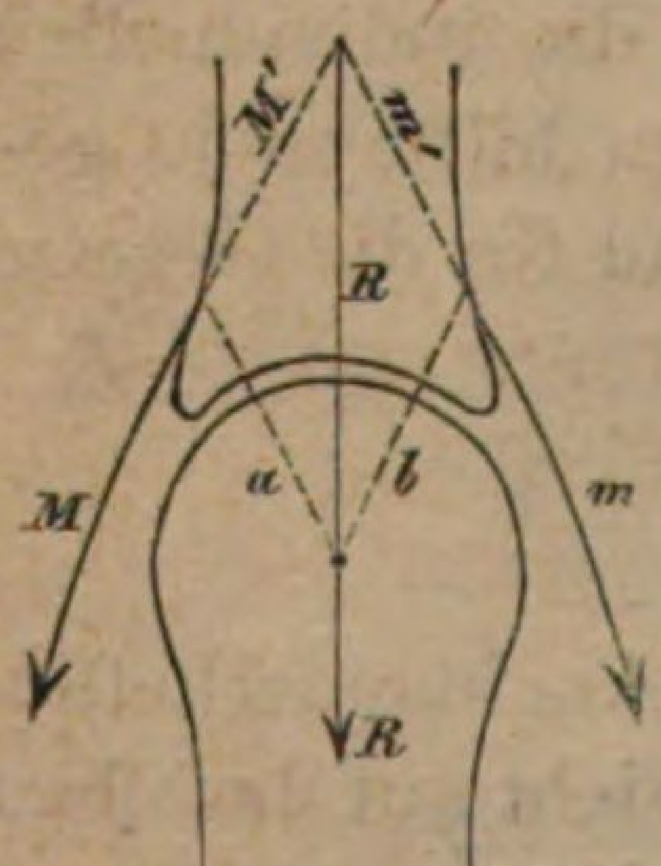


Fig. 27.

In welchem Verhältniss zu einander sie aber auch sein mögen, so müssen sie sich doch als Komponenten zu einer Resultirenden vereinigen, welche in der Gleichgewichtslage nach den allgemeinen Gesetzen des Hebels durch die Axe des Gelenkes gehen und daher die Gelenkflächen auf einander drücken muss. Nebenstehende Figur erläutert dieses unmittelbar.

Man kann sich aber auch dieses Verhältniss auf einfachere Weise so vergegenwärtigen, dass man die

Fig. 27. — Die fixirende Einwirkung der Muskeln auf das Gelenk. — *M* und *m* zwei Antagonisten, — *a* und *b* deren mathematische Hebelarme, — *M'* und *m'* deren fortgesetzte Zugrichtung, — *R* deren Resultirende (fixirender Axendruck).

1) Vergl. Lehrbuch der Anatomie. III. Aufl. S. 171 — und den Abschnitt: Vorbegriffe zu Fig. 10.

beiden Antagonisten nach Massgabe des in der Einleitung Gesagten als eine über den einen Knochen gespannte Muskelschlinge auffasst, welche an allen Berührungsstellen einen Druck auf denselben ausüben muss. Wenn nun in eine Stelle der Schlinge der zweite Knochen als ein Theil der Schlinge eingeschaltet wird, so muss er nothwendig auch auf die Gelenkfläche des ersten Knochens angedrückt werden. — Das schönste Beispiel von der Fixirung eines Gelenkes durch die Muskeln findet sich bei dem Schultergelenk und ist dort auch weiter ausgeführt.

4. Gestalt der Gelenkflächen.

In Bezug auf die Gestaltung der Gelenkflächen kann die Frage angeregt werden, welches die Ursache für die besonderen Formen derselben sei. Leider fehlt es an Material für eine genügende Antwort auf diese Frage. Dennoch muss ihrer wenigstens hier gedacht werden, um auf dieselbe aufmerksam zu machen und darauf hinzuweisen, dass verschiedene Antworten möglich sind und je nach ihrer Auffassung diese Frage noch vielerlei Interesse bieten kann.

Die bequemste Art, diese Frage zu lösen, ist die, ihre Berechtigung überhaupt gar nicht anzuerkennen, und die Gestaltung der Gelenkflächen als aus dem durch die Erzeugung gegebenen Entwickelungsplan des Organismus hervorgegangen hinzustellen.

Diese Lösung ist allerdings ebenso einfach als genügend, wenn man sich von derselben befriedigen lässt. So sehr wir aber auch einen solchen Entwickelungsplan des Organismus als bestehend im Allgemeinen anerkennen müssen, so sehen wir doch auch andererseits, dass innerhalb desselben nachweislich gewisse Einzelnheiten die Folge von gewissen anderen Verhältnissen sind und sind deshalb berechtigt, so weit möglich die Bedingungen zu erforschen, welche es veranlassen, dass in Einzelnheiten gerade dieser und kein anderer Gang der Entwickelung zu beobachten ist. Können wir doch ohne Zwang aus der Muskelanordnung und anderen topographischen Verhältnissen es ableiten, warum sich in dem ursprünglich gleichmässigen Gefässnetze des Embryo die grösseren Arterienströme sich so entwickeln müssen, wie wir sie im späteren Leben finden; und lässt es sich doch auch nachweisen, warum die ursprünglich gleichartige gerade Wirbelsäule des Menschen und der Quadrupeden sich später zu so verschiedenen Gebilden gestaltet. — Wenn wir nun in der Entwickelung der Gelenke sehen, dass sie alle eine ursprünglich gleichartige indifferente Formlosigkeit zeigen, so dürfen wir wohl fragen, ob nicht nachweisliche Ursachen die Differenzirung der Gelenke in ihre späteren Gestalten geben. Als solche Ursachen nöthigen sich die Muskelbewegungen vor allem Anderen der Beachtung auf und es ist die Ansicht statt-

haft, dass die Bewegungen der um ein Gelenk herum angeordneten Muskeln die Gestalt der Gelenkflächen bestimmen. — Ludwig Fick [1]) hat sich diese Frage auch bereits gestellt und auf dem Versuchswege die Antwort auf dieselbe gesucht; die wenigen Versuche, welche anzustellen ihm noch gestattet war, lieferten zwar keine sehr schlagenden Ergebnisse, aber doch solche, welche geeignet sind, zu weiterer Forschung auf diesem Wege aufzumuntern. — Von den Erfahrungen, welche ohne darauf gerichteten Versuch zu gewinnen sind, sprechen noch folgende ebenfalls zur Unterstützung der oben ausgesprochenen Auffassung. Für's Erste findet man eine in dieser Beziehung sehr interessante Stelle an der Astragalusrolle; an der hinteren Seite derselben findet man nämlich stets in höherem oder geringerem Grade eine Abstumpfung ihrer Kante (eine »gebrochene Kante«), und man erkennt leicht, dass dieses diejenige Stelle ist, über welche bei den Fussbewegungen das *ligamentum tibio-fibulare posterius* geschleift wird, — diese Kantenstumpfung hat für den Mechanismus des Gelenkes durchaus keinen Werth, könnte sogar als Störung der vollen Rollenfläche von Nachtheil sein; — um so mehr liegt die Ansicht nahe, dass sie eine durch das bezeichnete Band veranlasste accidentelle Bildung ist, welche beweist, wie die Gelenkflächen in der Bewegung durch die ihnen gegenüberliegenden Theile eine Modellirung erfahren. — Für's Zweite findet man häufig bei lange bestandenen »Kontrakturen«, dass der nicht durch eine gegenüberliegende Gelenkfläche gedeckte Theil einer Gelenkrolle uneben und höckerig wird, und kann hierin einen Beweis dafür erkennen, dass auch ausgebildete Gelenkflächen zur Erhaltung ihrer normalen Beschaffenheit stets einer Bestreichung durch die gegenüberliegende Gelenkfläche bedürfen. — Für's Dritte kann die schraubenförmige Gestalt der Ginglymusrollen einen Hinweis darauf geben, dass die Muskelwirkungen sie bedingen, weil sie, wie z. B. an der Humerusrolle, eine Richtung des Schraubenganges haben, wie sie eine von den beiden Antagonisten (hier *m. triceps* und *m. brachialis*) gebildete Schlinge über die Gelenkrolle haben würde; — oder mit anderen Worten: man findet in der nach der Richtung der Cylinderaxe gegebenen seitlichen Wanderung der Führungslinie den Ausdruck der Wirkung der dritten Komponente in der Muskelwirkung, derjenigen nämlich, welche senkrecht auf die Drehebene des Hebels wirkt (vgl. Gesetze über den Hebel in dem Abschnitte: Vorbegriffe aus der Mechanik).

1) Ueber die Gestaltung der Gelenkflächen. — Reichert und Dubois Archiv. 1859. S. 657.

5. Luxation und deren Einrichtung.

Das Grundmass der in einem Gelenke möglichen Bewegung ist, wie ich in meinem Lehrbuche gezeigt habe, für diejenigen Gelenkformen, bei welchen Schleifung zweier Gelenkflächen, einer hohlen und einer konvexen, auf einander nach Massgabe einer bestimmten Axe stattfindet, unschwierig zu bestimmen. Man darf nur den Bogenwerth der kleineren Fläche von demjenigen der grösseren Fläche abziehen und hat damit die gesuchte Grösse.

An dem gleichen Orte habe ich aber auch gezeigt, wie dieses Grundmass noch innerhalb der gewöhnlichen Verwendung der Gelenke nicht selten überschritten wird. Eine solche Ueberschreitung ist genau genommen nicht mehr in dem Gebiete der normalen Funktion des Gelenkes, sondern ist bereits der Anfang zu der wichtigen Störung in dem Verhalten des Gelenkes, welche die Chirurgie als Luxation, Verrenkung, bezeichnet.

Wenn die Bewegung, so weit sie durch den Bau der Gelenkflächen gestattet ist, ausgeführt worden ist, so findet sie eine Hemmung und zwar wird diese gegeben entweder durch Bänderspannung oder durch Anstemmen des bewegten Knochens gegen den anderen ihm durch Gelenk verbundenen Knochen, und zwar kann die letztere Hemmung näher oder entfernter dem Gelenke geschehen. Beispiele näherer Hemmung sind das Anstossen des Olekranon oder des *processus coronoides ulnae* in der betreffenden *fovea cubitalis*, — Beispiele entfernterer Hemmung das Anstossen des Humerus an das *acromion scapulae* und das Andrücken der Mitte des Radius an die Ulna in übertriebener Pronation.

Hat eine äussere Gewalt die Bewegung des Gelenkes bis zu dem bezeichneten Ende ausgeführt, so ist eine weitere Bewegung in der normalen Bahn und um die normale Axe nicht mehr möglich. Wirkt aber dennoch die Gewalt in derselben Richtung weiter, so wird der durch die Berührung der beiden Knochen gegebene Hemmungspunkt zum Stützpunkte, um welchen dann die Fortsetzung der Bewegung ausgeführt wird, und wenn die Gewalt stark genug ist, so werden die Gelenkflächen klaffend von einander abgehoben. Die Bänderspannung an der gegenüberliegenden Seite des Gelenkes, auch wohl die Spannung der dort gelegenen Muskeln setzt diesem Abheben einen mehr oder weniger starken Widerstand entgegen, aber entsprechend starke Gewalt kann diesen durch Zerreissen der Bänder und Muskeln überwinden, so dass das Abheben der Gelenkflächen von einander einen beträchtlicheren Grad erreichen kann. Der Luftdruck füllt dann die Lücke durch hineingedrängte Weichtheile aus, so gut es gehen mag.

Hört nun die äussere Gewalt auf zu wirken, so wird die Elasticität der das Gelenk umgebenden Theile in Verbindung mit dem Luftdrucke die Gelenkflächen wieder aufeinander drängen und mit Ausnahme der Schädigung durch Zerrung und Zerreissung an Bändern und Muskeln ist *restitutio ad integrum* gegeben. — Die Gesammtheit dieser Erscheinungen gibt das Bild der Verstauchung (*subluxatio*) der Chirurgen.

Soll eine wirkliche Verrenkung (*luxatio*) zu Stande kommen, so müssen noch andere Kräfte in Wirksamkeit kommen, damit die hierfür charakteristische falsche Lagerung der Gelenkenden zu Stande komme. Vor allen Dingen muss die Abhebung in so hohem Grade geschehen, dass eine Verschiebung der Knochenenden an einander möglich ist und dann muss irgend eine Gewalt die Verschiebung wirklich zu Stande bringen. Als solche kann eine Komponente der äusseren Gewalt in ihrer Fortwirkung thätig sein, oder auch der Zug von Muskeln, welche an dem aus der Verbindung gelösten Knochen angeheftet sind.

Mit dieser Verschiebung ist indessen die Luxation noch nicht gegeben, denn Elasticität oder Muskelwirkung oder beide vereint würden dieselbe wieder aufheben und die normalen Kontiguitätsverhältnisse des Gelenkes wieder herstellen können.

Damit eine Luxation, d. h. bleibende falsche Lagerung der Gelenkenden zu Stande komme, ist es nothwendig, dass, nachdem die Verschiebung geschehen ist, irgend welche Kräfte den verschobenen Knochen in seiner falschen Lage erhalten. Solche Kräfte können sein: Ineinandergreifen von Unebenheiten der Knochen (Lagerung des *processus coronoides ulnae* in die *fovea cubitalis posterior*, des Trochanter in die Hüftpfanne) oder Umschlingung durch Bänder oder Muskeln (Umschlingung des Femurhalses durch das *ligamentum ileo-femorale* und den *m. ileopsoas* bei der Verrenkung des Femur auf das Schambein).

In vielen Fällen kann der Zustand der angegebene bleiben; in anderen dagegen wird durch neu einwirkende Gewalten (Schwere, unzweckmässige »Hülfe« Anwesender etc.) noch eine Modifikation der falschen Lagerung herbeigeführt, welche dann als sekundäre Lagerung bezeichnet wird. — Fast mit Regelmässigkeit vorkommende sekundäre Lagerungen dieser Art werden in dem Schultergelenke durch Sinken oder Herabzerren des nach der Ausrenkung aufrecht gestellten Armes herbeigeführt, — und bei der Verrenkung in dem Hüftgelenke »nach hinten« (eigentlich nach unten und hinten) durch Gerade-Recken des Beines oder Stehversuche.

In dem Zustandekommen einer Luxation sind deswegen folgende einzelne Vorgänge in der folgenden Zeitordnung zu unterscheiden:

1) Erschöpfung der durch die Gestalt der Gelenkenden vorgeschriebenen normalen Bewegung in dem betheiligten Gelenke,
2) fortgesetzte Bewegung in dem gleichen Sinne, aber um ein neues Hypomochlion, nämlich den Anstemmungspunkt, und dadurch
3) Abhebung der beiden Gelenkflächen von einander bis zur Möglichkeit der Verschiebung,
4) Einwirkung einer verschiebenden Gewalt und in Folge dessen
5) Verschiebung der Gelenkenden an einander vorbei,
6) Fixirung der Gelenkenden in der dadurch erworbenen falschen Lage,
7) eventuell Modifikation dieser falschen Lage durch accidentelle Einwirkungen zu einer sekundären Lagerung.

Nach dieser Zerlegung der Vorgänge ist es nun auch deutlich, in welcher Weise die Wiedereinrichtung auszuführen sei; es muss nämlich zuerst die falsche Lagerung beweglich gemacht oder gelöst werden, dann muss eine Verschiebung der Gelenkenden geschehen, bis annähernd richtige gegenseitige Lage derselben erzielt ist und dann muss die richtige Berührung beider Gelenkflächen zu Stande gebracht werden; — für die Fixirung des Gelenkes sorgen dann schon die umgebenden Muskeln, etwa noch unterstützt durch einen Verband, bis die Bänder wieder verwachsen sind. Dass, soweit es die Aufgabe der Lösung der falschen Lage angeht, sehr verschiedene Methoden möglich sind, dieselbe zu Stande zu bringen, ist für jeden unverkennbar, welcher sich über die einzelnen Aufgaben genaue Rechenschaft gibt, die ihm die beabsichtigte Wiedereinrichtung stellt. — Die Kontroverse über die absolut zweckmässigste Methode der Einrenkung einer gewissen Luxationsform kann daher nur in soferne Sinn haben, als sie unter den verschiedenen möglichen Methoden diejenige zu ermitteln sucht, welche mit der meisten Schonung des Patienten und mit der grössten Bürgschaft für schnellen und günstigen Erfolg auszuführen ist. Die Wahl unter den möglichen Methoden wird aber darum doch in einem gegebenen Falle von der Individualität desselben und von Nebenumständen (Zahl der Assistenten etc.) abhängig sein müssen.

Es würde zu weit führen, wenn dieser Gegenstand hier noch in grösserer Ausdehnung behandelt werden sollte. Es mag daher genügen, durch Obiges gezeigt zu haben, wie die Luxationen sich an die noch im Gebiete des Normalen vorkommenden Abhebungen der Gelenkflächen anreihen, und welches die Grundzüge für den Mechanismus ihres Zustandekommens und derjenigen ihrer Einrichtungen sind und sein müssen. — Weitere Ausführung kann um so eher unterlassen werden, als solche bereits in II. 1 und in II. 3 an dem Beispiele der Verrenkungen des Hüftgelenkes und des Ellenbogengelenkes gegeben ist. — In Bezug

auf die Verrenkungen des Hüftgelenkes darf ich indessen wohl noch die Bemerkung beifügen, dass seit der Veröffentlichung jener Arbeit (II. 1) ich mich durch wiederholte Untersuchungen davon habe überzeugen müssen, dass die Luxation des Femurkopfes gerade nach hinten nicht möglich ist, sondern dass die Lagerung des Femurkopfes in der *incisura ischiadica* stets eine sekundäre Lagerung nach einer tiefer unten geschehenen Luxation sein muss.

6. Gleichgewichtslage der Gelenke.

Bei der grossen Bewegungsfähigkeit der Gelenke und den mancherlei Kräften, welche sich dafür geltend machen oder geltend machen können, um dieselbe in die Erscheinung treten zu lassen, muss die Frage entstehen, welche Bedingungen es sind, welche in einem Gelenke die Gleichgewichtslage hervorbringen. — Die Frage muss eine verschiedene Beantwortung finden, je nachdem man den Begriff der Gleichgewichtslage auffasst, und die verschiedene Auffassung wird sich danach richten, welche Kräfte man bei der Beurtheilung der hier geltenden Verhältnisse in Rücksicht nehmen will. Es ist ja nicht zu verkennen, dass gewisse Kräfte in der Organisation des Gelenkes und seiner Umgebung selbst die Begründung ihrer Anwesenheit haben, und dass andere unter den gewöhnlichen Verhältnissen als unvermeidliche accidentelle Einwirkungen gelegentlich auftreten und ihren Einfluss geltend machen können. In die erste Kategorie gehören vorzugsweise die um ein Gelenk herum gruppirten Muskelkräfte, — in die zweite solche Agentien wie z. B. die Schwere.

Je nachdem man die letztere Kategorie mit in Rechnung zieht, oder nicht, wird man verschiedene Bedingungen für das Zustandekommen des Gleichgewichtszustandes anerkennen müssen und man kann daher zweierlei Arten des Gleichgewichtszustandes unterscheiden, nämlich:

1) mittlere Lage des Gelenkes, welche nur in der Organisation des Gelenkes selbst und seiner Umgebung begründet ist und
2) Ruhelage des Gelenkes, zu welcher alle auf ein Gelenk einwirkende Kräfte beitragen.

Bei dem Versuche, diese beiden Begriffe genauer zu entwickeln, stellt sich sogleich für den ersten, denjenigen der Mittellage eines Gelenkes eine nicht unbeträchtliche Schwierigkeit heraus, und diese gründet sich auf die Frage, wie man die dafür nothwendige Gleichgewichtslage der Muskeln definiren will, ob nämlich

mehr dynamisch als diejenige Haltung, in welcher alle Muskelkräfte sich gegenseitig das Gleichgewicht halten, oder

mehr anatomisch als diejenige Haltung, in welcher jedem der beiden Elemente eines Antagonistenpaares die gleiche Exkursionsmöglichkeit gegeben ist.

Man sieht, die letztere Auffassung fällt zusammen mit der Aufstellung einer solchen Lage der beiden Gelenkflächen gegen einander, in welcher ihre Mittelpunkte sich decken; — die erste Auffassung würde auf das Gleiche herauskommen, wenn immer je zwei Antagonisten vollständig den gleichen Kraftwerth hätten, würde aber einer derselben oder überhaupt einzelne Muskeln der das Gelenk umgebenden Gruppe ein Uebergewicht über die andere haben, so müsste sich dieses auch in der durch die Muskeln allein gegebenen Gleichgewichtslage geltend machen, wie dieses z. B. bei sogenannten Kontrakturen zu sehen ist.

Da es aber nun nicht möglich ist, alle Möglichkeiten in der ungleichmässigen Ausbildung der Muskeln zu berücksichtigen, indem diese ja Sache der individuellen Entwickelung und der individuellen Uebung ist, so ist man genöthigt, für die allgemeine Darlegung des Verhältnisses eine Gleichheit der Stärke in je zwei zu einem Antagonistenpaare verbundenen Muskeln anzunehmen und damit zugleich den Vortheil einer einfacheren Grundlage zu gewinnen, welche, wenn für einen besonderen Fall nöthig, leicht modificirt werden kann. Dass unter dieser Voraussetzung die beiden oben hingestellten verschiedenen Begriffsbestimmungen für die Mittellage zusammenfallen, ist bereits angedeutet, und es lässt sich nunmehr die Mittellage eines Gelenkes als diejenige definiren, in welcher die Winkelgrösse der Bewegung für je zwei Antagonisten die gleiche ist. Da nun die meisten Gelenke in einem Zustande, wenn nicht gerade extremer, so doch vorherrschender Streckung zu verharren pflegen, so ergibt sich hieraus, dass die Mittellage stets als eine Flexionsstellung entsprechenden Grades in die Erscheinung treten muss.

Da zwei gleich starke Antagonisten so gegen einander gestellt, dass sie gleiche Exkursionsmöglichkeit haben, nothwendig auch sich in gleich starkem Kontraktions-, beziehungsweise Erschlaffungszustande befinden müssen, so wird durch die Muskeln allein die Mittellage unter zwei Verhältnissen veranlasst werden; sie wird nämlich eintreten, wenn alle um das Gelenk angeordneten Muskeln sich in gleichmässiger Zusammenziehung befinden, eine Erscheinung, welche vorzugsweise bei allgemeinen Krämpfen beobachtet wird; — sie wird aber auch gesucht werden in der Ruhe, weil in dieser möglichst gleichmässige Abspannung der Muskeln erstrebt wird.

Da die Gelenkbänder, zunächst also die Kapsel, eine solche Länge haben, dass sie am Ende der gegenüberstehenden Muskelwirkung gespannt sind, so müssen auch alle Theile der Gelenkkapsel in der Mittellage eines Gelenkes gleichmässig erschlafft sein, weil der Zustand aller

Muskeln gleichmässig weit von dem möglichen Ende ihrer Kontraktion entfernt ist. In der Mittellage der Gelenke ist daher auch nirgends eine Bänderspannung; sie wird deshalb auch gesucht in Fällen von Erkrankungen in den Gelenken, bei welchen Bänderspannungen schmerzhaft sein würden.

Wenn ferner in der Mittellage alle Theile der Kapsel gleichmässig schlaff sind, so muss in derselben auch die Entfaltungsmöglichkeit der Kapsel eine möglichst gleichmässige sein; und umgekehrt muss eine gleichmässige Entfaltung der Kapsel, wenn sie mit entsprechender Kraft geschieht, auch die Mittellage hervorbringen. Dieses Verhältniss ist aber gegeben, wenn z. B. in Fällen von Entzündungen der Synovialhaut Ergüsse in die Gelenkhöhle zu Stande kommen.

In diesem letzteren Falle tritt also die Mittellage als passive Erscheinung ein, — bei Krämpfen als Zeichen höchster Aktivität aller um das Gelenk angeordneter Muskeln, — und in der Ruhe, sowie bei Entzündungen etc. in einem Gelenke als das Ergebniss freiwilliger Thätigkeit für den Zweck der Herbeiführung von Abspannung ermüdeter Muskeln oder der Vermeidung schmerzhafter Spannung.

Bei der oben als Ruhelage bezeichneten Haltung eines Gelenkes ist die eben besprochene Gleichgewichtslage noch modificirt durch die Einwirkung anderer Agentien. Diese müssen aber, insofern die Ruhelage nur in den in dem Körper selbst gegebenen Verhältnissen ihre Begründung finden soll, der Art sein, dass sie eine konstante Wirkung haben. Als Agentien dieser Art sind zu bezeichnen:

Widerstand von gespannten Bändern,
Elasticität (Symphysenscheiben, *ligamenta flava*),
Schwere.

Diese drei Agentien können in höherem oder geringerem Grade sich mit der besprochenen Muskelwirkung für Erzeugung der Ruhelage der Gelenke verbinden, und sind für sich allein oft schon genügend, eine solche herbeizuführen. In letzterer Beziehung ist an dasjenige zu erinnern, was in Früherem (Abschnitt: Elemente des Knochengerüstes) über die »Kombination« gesagt worden ist, in welcher ja auch eine Ruhelage eines oder mehrerer Gelenke gegeben ist und zwar nur durch Zusammenwirken der Schwere und des Bänderwiderstandes.

Die Elasticität macht sich namentlich geltend in der Ruhelage der Wirbelsäule, indem die von Wirbel zu Wirbel gehenden elastischen *ligamenta flava* (*intercruralia*) und die Elasticität der Zwischenwirbelscheiben für die gegenseitige Ruhelagerung je zweier Wirbel sehr wesentlich bestimmend werden im Vereine übrigens mit der Schwere und der Muskelthätigkeit (Kontraktion oder Tonus).

Die angegebenen Beispiele genügen zu zeigen, wie die angegebenen Agentien für sich allein oder vorzugsweise wirkend im Stande sind, eine Ruhelage der Gelenke zu erzeugen. Danach muss es denn auch verständlich erscheinen, wie sie sich gelegentlich in das Zustandekommen der vorzugsweise durch die Muskeln bestimmten Gleichgewichtslage einmengen können, indem sie die Wirkung gewisser Muskelgruppen aufheben oder abschwächen und dagegen diejenige anderer unterstützen.

Am deutlichsten tritt dieses hervor an nicht belasteten Gelenken, welche frei beweglich die Ruhelage suchen. So ist es ohne Schwierigkeit zu verstehen, dass die im Stehen gegebene adducirte Ruhelage des ganzen Armes und die gleichzeitig stattfindende Strecklage des Unterarms gegen den Oberarm nur durch die Schwere bestimmt wird, welche für das Schultergelenk die abduktorische Komponente des Muskel-Gleichgewichtes aufhebt und dagegen die adduktorische Komponente unterstützt oder ersetzt. In gleicher Weise wirkt die Schwere in dem Ellenbogengelenke der flektirenden Komponente entgegen und diese letztere kann erst in den Fingern, deren Masse unbedeutend ist, sich als leichte Krümmung in der gewöhnlichen Haltung geltend machen. — Ein wegen Mannigfaltigkeit der Verhältnisse recht interessantes Beispiel gibt das Hüftgelenk. Während im aufrechten Stehen die Ruhelage dieses Gelenkes nur durch die Schwere und die Bänderspannung bedingt wird, kann im Liegen das nun entlastete Gelenk die Muskelgleichgewichtslage annehmen, in welcher dasselbe flektirt und abducirt erscheint. In der Rückenlage hebt indessen die Schwere das flektorische Element dieser Stellung auf und in der Seitenlage wird das abduktorische Element vermisst, weil es ebenfalls durch die Schwere oder vielmehr durch den Gegendruck des Bodens beseitigt wird. Die richtige Mittellage kann nur erzielt werden, wenn in der Rückenlage gleichzeitige Kniebeugung stattfindet, wodurch die Schwere des Oberschenkels unterstützt wird. Bei dieser Lagerung ist jedoch das Fussgelenk in unbequemer Weise gestreckt, daher entspricht auch diese Stellung dem Ruhebedürfniss nicht vollkommen und man sieht deshalb solche Personen, welche von angestrengtem Gehen ausruhen wollen, zwischen den drei angegebenen Stellungen abwechseln.

7. Bewegungsrichtung und Stellung.

Noch ist zur Verständigung nothwendig, die Begriffe über die verschiedenen möglichen Bewegungsformen festzustellen und damit deutlich auszusprechen, in welchem Sinne die betreffenden Benennungen derselben in den vorliegenden Untersuchungen gebraucht werden sollen. Es ist dieses nicht zu umgehen, weil in dieser Beziehung viel Unklarheit

Bayerische Staatsbibliothek München

sich eingeschlichen hat, welche ihrerseits wieder entstanden ist aus dem Gebrauche undefinirter Ausdrücke, der fruchtbarsten Quelle für Unklarheiten verschiedenster Art.

Vor Allem sind es die Ausdrücke: Streckung (Extension) und Beugung (Flexion), welche in der Anwendung so verwirrt geworden sind, dass es oft schwer ist zu wissen, was mit diesen Ausdrücken gemeint ist, — und dass man deshalb häufig aus dem Zusammenhange erst sich hierüber Aufklärung verschaffen kann. Ebenso viele Unklarheit ist in der Auffassung von den Ausdrücken: Supination und Pronation zu finden, was der eine Umstand zur Genüge beweist, dass man von manchen Seiten dem *m. supinator longus* die supinirende Thätigkeit absprechen will. Selbst die Ausdrücke Adduktion und Abduktion sind in ihrer Anwendung häufig nicht scharf genug hingestellt.

Der Hauptgrund für die Unklarheit ist darin zu finden, dass man sich den Unterschied zwischen: Stellung und Bewegung nicht entsprechend vergegenwärtigt.

Stellung ist Ruhezustand in gewissen räumlichen Beziehungen zu den Nachbartheilen;

Bewegung ist aneinandergereihte Ortsveränderung oder Lagenveränderung, welche in einer Stellung beginnt und mit einer Stellung endigt. — Sie bleibt ihrem Charakter nach immer dieselbe, ob sie den vollständigen Weg aus einer Stellung in die andere ganz zurücklegt oder nur theilweise.

Die einfachsten Verhältnisse bieten die Begriffe: Supination und Pronation und sind deshalb am Leichtesten in's Reine zu stellen. — Wir unterscheiden zwei extreme Rotationsstellungen der Hand, welche als Supinationsstellung und Pronationsstellung zu bezeichnen sind. Bekanntlich ist eine Drehbewegung von ungefähr 180^{0} nothwendig, wenn die Hand aus einer dieser Stellungen in die andere übergeführt werden soll. — Die ganze mögliche Bewegung, welche in der Supinationsstellung ihr Ende erreicht, beginnt in der Pronationsstellung; — wegen des eben genannten Endzieles ist diese Bewegung als Supinationsbewegung zu bezeichnen; und da eine jede Bewegung nur durch ihre Richtung charakterisirt ist, und nicht durch die Länge ihres Weges, so ist die Supinationsbewegung auch charakterisirt durch ihre Richtung von der Pronationsstellung gegen die Supinationsstellung hin, mag der wirklich durchlaufene Weg von den zwischenliegenden 180^{0} nur 3^{0} oder alle 180^{0} betragen. Eine Bewegung nach abwärts bleibt ja darum doch eine Bewegung nach abwärts, wenn auch der betreffende Körper nur 1 Millimeter fällt und den Boden nicht erreicht.

In gleicher Weise ist die Pronationsbewegung durch die Richtung des Weges aus der Supinationsstellung nach der Pronations-

stellung hin charakterisirt, mag die Grösse des Weges sein, welche sie will.

Wenn für beiderlei Bewegungen nur die Richtung das Massgebende ist, so wird auch, wie die Grösse des Weges gleichgültig ist, ebenso auch gleichgültig und ohne Einfluss auf die Benennung sein müssen, ob der durch eine in dem angeführten Sinne ausgeführte Bewegung wirklich zurückgelegte Weg am Anfange oder am Ende oder in der Mitte des ganzen möglichen Weges gelegen ist. Wir werden deshalb eine Supinationsbewegung als solche anerkennen müssen, sobald sie in der entsprechenden Richtung geschieht und wenn sie auch nur einen Grad aus der Pronationsstellung gegen die Supinationsstellung hin zurücklegt.

Es ist ein Verlangen, welches nur aus einem Verkennen dessen, was eigentlich Bewegung ist, hervorgehen kann, wenn man an eine Bewegung den Anspruch macht, dass sie auch wirklich eine Supinationsstellung soll erzeugen können, ehe man ihr den Charakter einer Supinationsbewegung zuerkennen will; — und doch wird gerade von diesem Standpunkte aus der *m. supinator longus* häufig nur als Beuger des Ellenbogengelenkes hingestellt, während er doch ein wichtiger Rotator der Hand ist; die Stellung, die er am Ende seiner Wirkung für die Hand hervorgebracht hat, ist ungefähr gerade die mittlere Stellung zwischen Pronationsstellung und Supinationsstellung; diese Stellung erzeugt er durch eine Supinationsbewegung von 90° aus der Pronationsstellung und durch eine Pronationsbewegung von 90° aus der Supinationsstellung. Er ist also allerdings in dem oben ausgeführten Sinne ein *supinator*, d. h. Supinationsbewegung ausführender; — daneben ist er allerdings aber auch ein *pronator*, d. h. Pronationsbewegung ausführender; — er ist eben Mittelstellung-erzeugend, welche der beiden extremen Stellungen auch im Anfange seiner Wirkung gegeben sein mag. Man kann deshalb den Namen »*supinator*« dieses Muskels als ungeeignet tadeln; — man kann ihn auch durch den ganz indifferenten Namen »*brachio-radialis*« ersetzen, aber wenn man ihm die Möglichkeit der Supinationsbewegung absprechen will, weil er keine Supinationsstellung hervorbringen kann, so verkennt man deutlich vorliegende Thatsachen.

In Bezug auf die Begriffe: Beugung und Streckung (*flexio, extensio*) ist die Sache schwieriger gestellt, als in Bezug auf die eben besprochenen Begriffe. Der Grund dafür ist folgender: Die Bewegungen, welche unter die Begriffe: Beugung und Streckung fallen, umfassen ebenfalls gelegentlich, z. B. an der Hand, einen Weg von ungefähr 180°, — aber — und hierin liegt der Hauptgrund für die Schwierigkeit und die Verwirrung — es sind nicht die extremen Stellungen, welche, wie in dem vorigen Falle, besonders benannt werden, sondern die Mittelstellung und eine extreme Stellung, für die andere extreme Stellung fehlt

der Name, weil die Begriffe aufgestellt sind nach den Fällen, in welchen sich, ähnlich wie bei dem *m. supinator longus*, die wirkliche Bewegungsmöglichkeit auf den Weg zwischen einer extremen Stellung und der Mittelstellung beschränkt.

Um möglichste Klarheit in diese Verhältnisse zu bringen, ist es auch wieder nothwendig, von der Unterscheidung zwischen Stellung und Bewegung auszugehen, und so sind denn zuerst die beiden Stellungen zu charakterisiren:

in der Streckstellung sind die betreffenden beiden Gliedtheile so gestellt, dass die Axen derselben annähernd in Kontinuität stehen; — das ganze Glied ist damit in eine Gestalt gebracht, in welcher es am Längsten ist, daher der Name für diese Stellung;

in der Beugestellung sind die beiden Axen in einen Winkel gegen einander gestellt, und die dadurch gebogen erscheinende Gestalt des Gliedes hat den Beweggrund für den Namen dieser Stellung gegeben.

Folgerichtig weiter gehend muss man nun als Streckbewegung bezeichnen die Bewegung aus der Beugestellung gegen die Streckstellung hin, — und als Beugebewegung die Bewegung aus der Streckstellung nach der Beugestellung hin.

Soweit ist die Angelegenheit einfach und die aufgestellten Begriffe reichen auch vollständig aus zur Beurtheilung der Verhältnisse für solche Gelenke, bei welchen, wie z. B. bei dem Ellenbogengelenk, die Streckstellung die eine der beiden extremen Stellungen ist und deswegen die Beugebewegung nur nach einer Seite von derselben gehen kann. — Die Schwierigkeit zeigt sich auch nur da, wo auch durch den Umfang der Bewegungen zwischen zwei Gliedtheilen die Streckstellung als das hingestellt ist, was sie in Wirklichkeit ist, nämlich als die allgemeine indifferente Mittelstellung zwischen einer grösseren Anzahl von Beugestellungen, von welchen immer je zwei mit der Streckstellung in der gleichen Ebene liegen. — Die Bewegungen der Hand gegenüber dem Unterarme sind besonders geeignet, dieses zu zeigen, denn sie gestatten, Zwischenformen ungerechnet, nicht weniger als vier typische Beugestellungen und zwischen je zwei zusammengehörigen, d. h. in derselben Ebene liegenden, befindet sich die Streckstellung als Mittelstellung. Die Streckstellung ist demnach bezeichnet durch die Durchschneidungslinie der beiden Ebenen, in welchen die vier typischen Beugestellungen liegen; und in jeder dieser Ebenen sind aus der Streckstellung zwei Beugebewegungen möglich, nämlich in der einen Ebene eine radiale und eine ulnare und in der anderen eine volare und eine dorsale; — und ferner müssen diesen vier Beugebewegungen auch

wieder vier Streckbewegungen in umgekehrter Richtung entsprechen. — Für die Stellungen ist das gegebene Bild ziemlich einfach, für die Bewegungen aber ist es ziemlich verwickelt, weil dabei nur der Uebergang aus der Streckstellung in eine der Beugestellungen oder umgekehrt massgebend ist und nicht die Richtung der Bewegung. — Lassen wir diese allein massgebend sein, so haben wir folgende Bewegungen aufzustellen:

1) eine aus der volaren Beugestellung in die dorsale Beugestellung,
2) eine dieser entgegengesetzte aus der dorsalen Beugestellung in die volare Beugestellung,
3 und 4) die entsprechenden beiden Bewegungen zwischen der ulnaren und der radialen Beugestellung.

Fasst man die beiden unter 1 und 2 genannten Bewegungen zusammen, so hat man an denselben eine vollständige Analogie zu den vorher besprochenen Bewegungen, der pronatorischen und der supinatorischen, und man würde die Analogie auch in der Benennung durchführen, wenn man die unter 1 genannte Bewegung »dorsale« und die unter 2 genannte »volare« nennen und der Streckstellung ihre Bedeutung als »Mittelstellung« auch durch die Benennung zuerkennen wollte.

Ein Bedürfniss nach einfacherer Auffassung in diesem Sinne ist vielfach gefühlt und hat dahin geführt, dass man die ganze soeben als »dorsale« benannte Bewegung als Streckbewegung (Extension) bezeichnete und die entgegengesetzte, die »volare«, als Beugebewegung (Flexion). Grund für die Wahl dieser Ausdrücke war der Umstand, dass diese Bewegungen durch Muskeln zu Stande gebracht werden, welche aus Rücksicht auf vollständig gerechtfertigte morphologische Analogie als Extensoren, beziehungsweise Flexoren benannt waren. — Man war nun aber durch die Wahl dieser Ausdrücke in der sonderbaren Verlegenheit anerkennen zu müssen, dass eine Beugebewegung zur Streckstellung und eine Streckbewegung zur Beugestellung führen könne. — Um diesen inneren Widerspruch abzuschwächen, verfiel man theilweise darauf, diejenige Bewegung, welche aus der Streckstellung in die dorsale Beugestellung führte, als »Ueberstreckung« (Hyperextension) zu bezeichnen, für die entgegengesetzte eben so paradoxe streckende Beugebewegung wusste man aber keine entsprechende Aushülfe.

So richtig auch der Gedanke oder das Gefühl war, wodurch die eben gegebene Auffassung der Verhältnisse in dem Handgelenk veranlasst war, so musste doch die unglückliche Wahl der Ausdrücke die Unklarheit und die Verwirrung noch vermehren; — und in der That, wenn man gegenwärtig die »Extension« des Fusses erwähnt findet, so ist man so lange im Unklaren, ob damit eine Hebung oder Senkung der Fussspitze gemeint sei, bis man es aus dem Zusammenhange errathen kann.

Es ist das strengste Bedürfniss dafür da, dass diesem Uebelstande des Widerspruches zwischen Sache und Namen der Sache abgeholfen werde und es ist dafür kein anderer Ausweg, als dass man die unklar gewordenen Ausdrücke so weit irgend möglich vermeidet, indem man:

1) »Beugung« und »Streckung« nur für Benennung der entsprechenden Stellungen verwendet und dann auch lieber die Ausdrücke »Beugestellung« und »Streckstellung« gebraucht, — und indem man

2) für Bezeichnung der Bewegungen möglichst unzweideutige Ausdrücke gebraucht wie Hebung und Senkung der Fussspitze, dorsale, volare (plantare), radiale, ulnare Bewegung etc., wie es gerade die Umstände erlauben, — und dabei den Ausdrücken »Beugung« und »Streckung« möglichst aus dem Wege geht.

In Bezug auf die Auffassung von »Adduktion« und »Abduktion« ist die Schwierigkeit wegen unklarer Verwendung derselben nicht bedeutend, weil sie sehr leicht zu beseitigen ist. Diese Ausdrücke sind ja an sich durchaus unzweideutig; es gehört nur zu ihrem richtigen Verständniss die Bezeichnung der Linie, auf welche das *»ad«* und das *»ab«* Bezug haben. Dass in der Aufstellung derselben Verschiedenheiten stattfinden können, versteht sich von selbst, da dieselbe etwas willkürliches ist, und so ist z. B. unser *m. abductor hallucis* für die Engländer ein *m. adductor hallucis*, weil für uns die Mittellinie des Fusses, für sie aber die Mittellinie des Körpers massgebend für den Namen dieses Muskels ist. — Man wird aber trotzdem in die Verlegenheit kommen, einem *m. interosseus abductorius* der zweiten Zehe und des Mittelfingers eine adduktorische Wirkung beimessen zu müssen; indessen kann man sich auch hier durch Darlegung der thatsächlichen Verhältnisse und Vermeidung verwirrender Ausdrücke heraushelfen oder doch wenigstens Unklarheiten vermeiden.

Die obere Extremität.

Die obere Extremität ist in vielfacher Beziehung ausgezeichnet vor der unteren und ist durch ihre Eigenthümlichkeiten ebenso bestimmt als Greifapparat charakterisirt, wie die untere Extremität als Stützapparat. Der schwerfälligen Massigkeit der unteren Extremität gegenüber ist die obere Extremität ausgezeichnet durch eine grosse Beweglichkeit und Gewandtheit. Der Grund für diese ist nicht in der Hauptartikulation der Extremität, in dem Ellenbogengelenke, gegeben, denn dieses ist, wie das Kniegelenk, nur ein Ginglymus; und im Gegentheil ist das Kniegelenk durch gewisse Nebenbewegungen vielseitiger in seinen Aktionen als das Ellenbogengelenk. Auch die Einfügungsweise der oberen Extremität in ihren Knochengürtel hat nichts voraus vor der gleichen Verbindung der unteren Extremität, denn das Schultergelenk ist wie das Hüftgelenk eine Arthrodie mit freiester Bewegligkeit. In diesen beiden Hauptpunkten sind also beide Extremitäten ganz gleichmässig gebaut.

Was die obere Extremität auszeichnet, ist vor Allem die geringere Massenhaftigkeit der Knochen, welche sie zusammensetzen. Dünner und kürzer als diejenigen der unteren Extremität und mit minder dicken Gelenkenden an einander gefügt, sind sie leichter beweglich, und begründen dadurch schon einen grossen Theil der gewandteren Beweglichkeit der oberen Extremität.

Die hauptsächlichste und charakteristischste Eigenthümlichkeit der oberen Extremität besteht aber in der Einrichtung der beiden accessorischen Theile, nämlich des Schultergürtels und der Hand.

In der Hand sind die langen Elemente vorherrschend gegenüber den kurzen der Handwurzel, welche ganz zurückgedrängt erscheinen, während die Fusswurzel einen sehr beträchtlichen Theil des Fusses bildet. — Unter den langen Elementen sind dann wieder die Finger in ihren einzelnen Phalangen sehr lang, und haben ausserdem grössere Exkursionen in der Flexion als die Zehen. Desgleichen ist die eigenthümliche Be-

weglichkeit des Daumens, welche ihm die Opposition gestattet, ein beträchtlicher Vorzug der Hand vor dem Fuss im Sinne der Gewandtheit. — Der ganzen Hand ist ferner durch die freiere Organisation der Handwurzel eine freiere Bewegung in vier Flexionsrichtungen gewährt; und zu diesem kommt noch die durch den Radius ermöglichte ebenso umfangreiche als sichere Drehbewegung.

Der Schultergürtel ist so organisirt, dass das Schulterblatt unter sicherer Führung durch das Schlüsselbein sehr leicht die verschiedensten Stellungen einnehmen kann. Indem aber mit einer jeden anderen Stellung auch nothwendiger Weise eine Lagenveränderung für das Schultergelenk gegeben ist, ist damit zugleich der Ausgangspunkt für alle in dem Arme möglichen Bewegungen verlegt und die ganze Sphäre der durch die Organisation des Armes ermöglichten Aktionen an eine andere Stelle getragen.

In einer jeden Stellung des Schultergürtels ist für den Humerus eine gewisse Menge von Bewegungen möglich, welche alle innerhalb eines Kegelmantels liegen, der durch Aneinanderreihung der extremsten Stellungen gebildet wird.

In jeder einzelnen dieser Stellungen des Humerus ist dann eine Beuge- und Streckbewegung des Ellenbogengelenkes möglich, und zwar kann dabei die Flexionsebene durch die in jeder Stellung des Humerus mögliche Rotation desselben in den verschiedensten Richtungen gestellt sein.

In jeder Stellung, welche auf diese Art der Unterarm erlangen kann, ist dann wieder durch die Bewegung des Radius eine Drehung der Hand möglich; und in jeder Drehstellung der Hand können die vier typischen Flexionen derselben ausgeführt werden; — und endlich haben in einer jeden Stellung der Hand alle Finger ihre freie Beweglichkeit und der Daumen seine Opposition.

Welche Fülle von einfachen und kombinirten Bewegungsmöglichkeiten!

Die ganze obere Extremität ist damit auf das Schärfste als Greifapparat charakterisirt, ebenso geeignet, äussere Gegenstände zu erfassen, um ihre Raumbeziehungen zu uns zu ändern, wie auch um an äusseren Gegenständen einen Fixirungspunkt zu gewinnen für unsere eigene Lokomotion.

Anmerkung: Das gegenseitige Verhältniss der einzelnen Theile der Hand und des Fusses lässt sich annähernd genau dahin angeben, dass die Mitte der ganzen Länge bei der Hand in das Metakarpophalangalgelenk des Mittelfingers fällt, — bei dem Fusse aber auf die Grenze zwischen Tarsus und Metatarsus.

Setzt man die ganze Länge der Hand gleich 10 Theilen, so fallen in der Längentheilung 2 Theile auf die Handwurzel, 3 Theile auf den Metakarpus

und 5 Theile auf die Finger. — Die durch den Mittelfinger bezeichnete Linie ist hierbei als massgebend angesehen.

Wird in gleicher Weise die Länge des ganzen Fusses, nach der durch die zweite Zehe bezeichneten Linie bestimmt, zu 10 Theilen gesetzt, so fallen von diesen 5 Theile auf die Fusswurzel, 3 Theile auf den Mittelfuss und 2 Theile auf die Zehen.

Mittelfuss und Mittelhand haben demnach $^3/_{10}$ der Länge des Fusses, beziehungsweise der Hand, und die beiden anderen Abtheilungen stehen in umgekehrtem Verhältniss zu einander, indem Handwurzel und Zehen dann $^2/_{10}$ sind; Fusswurzel und Finger dagegen $^5/_{10}$.

1. Die Schulter.

In der Schulter stossen die beiden Knochen zusammen, welche zusammen den Schultergürtel bilden, und an der gleichen Stelle befindet sich auch die Artikulation des Humerus mit dem Schultergürtel.

Als Hauptheil des Schultergürtels ist das Schulterblatt anzusehen, denn mit ihm allein artikulirt der Humerus und damit der ganze Arm, — und bei der vorherrschenden Mehrzahl der Mammalien ist es der einzige Vertreter des Schultergürtels.

Das Schlüsselbein ist für solche Mammalien noch ein ergänzender Bestandtheil des Schultergürtels, welche ihre vorderen Extremitäten freier und kräftiger gebrauchen. Dem Menschen gewährt es gesichertere und geregeltere Armbewegung überhaupt und gewährt ihm namentlich auch die Möglichkeit die obere Extremität als Stütze benutzen und zu vielseitigen Formen der Lokomotion verwenden zu können.

Jeder der drei in der Schulter zusammenstossenden Knochen hat seine eigene Bewegung durch Muskeln, welche ihn direkt angreifen; — jeder derselben ist aber zugleich in solcher Abhängigkeit von den anderen, dass er von diesen auch mitgetheilte Bewegungen erhalten kann. — Die meiste Abhängigkeit in dieser Beziehung besitzt das Schlüsselbein und seine Bedeutung nähert sich deswegen auch derjenigen eines Meniskus, wenn es auch einen wichtigen Theil der Charakteristik eines Meniskus nur unvollständig besitzt, den Mangel nämlich typischer Muskelinsertionen.

Wegen dieser gegenseitigen Abhängigkeit der drei Knochen von einander ist es nicht möglich, für die Untersuchung ihrer Mechanismen ein Auseinanderhalten derselben streng durchzuführen. Sie müssen in vielen Beziehungen als ein zusammengehöriges Ganze behandelt werden.

Weniger tritt diese Nothwendigkeit auf gegenüber den Bewegungen, deren sie bei ruhendem Rumpfe fähig sind, mehr dagegen dann, wenn sie als *punctum fixum* dem bewegten Rumpfe gegenüber stehen.

A. Die Lage der Knochen in der Schulter und das Schultergelenk.

Im Allgemeinen lässt sich die Lage der drei in der Schulter vereinigten Knochen in der Weise bezeichnen:

Der Schultergürtel liegt als ein in der aufrechten Stellung des Körpers horizontaler Bogen um die obere Peripherie des Brustkorbes, mit seinem vorderen Ende (*extremitas sternalis claviculae*) an das Brustbein angeheftet und der Humerus hängt in der gleichen Stellung des Körpers von der Mitte des Bogens vertikal hinab. Welche Bänder hierbei die drei Knochen unter einander verbinden, ist bekannt und kann deshalb vorläufig unberücksichtigt bleiben. Genauere Würdigung dieser Bänder bleibt für später vorbehalten.

Für die Bildung des Bogens kann hierbei von Seiten des Schulterblattes als massgebend nur angesehen werden dessen oberer Theil, d. h. der Theil, welcher nach unten begrenzt wird durch eine Linie, welche man unter dem *caput scapulae* beginnt und unter der Einpflanzung der *spina scapulae* in die *basis* dieses Knochens endigen lässt.

Der Bogen, welchen die beiden Theile des Schultergürtels mit einander bilden, lässt sich passender einem Tagentenwinkel zu der Peripherie des Brustkorbes vergleichen. — Theilt man die Peripherie des Brustkorbes in vier Quadranten und nimmt man zur Bestimmung die beiden Quadranten derselben Körperhälfte, so liegt das Schlüsselbein als Tangente zu dem vorderen Quadranten und das Schulterblatt als Tangente zu dem hinteren Quadranten. — Der Vergleich ist, wie alle Vergleiche organischer Körper mit streng mathematischen Formen, ungenau, oder vielmehr zu schroff schematisirt, aber er gibt doch ein möglichst genaues Grundbild, welches Modifikationen für Einführung der wirklichen Verhältnisse leicht gestattet. Deshalb ist denn auch darauf aufmerksam zu machen, dass beide Knochen mit einer gewissen Krümmung, welche am Stärksten an dem Schlüsselbeine ausgesprochen ist, sich an die Peripherie des Thorax akkommodiren und sich dadurch in etwas dem koncentrischen Charakter nähern, — und dass ferner der Winkel, in welchem beide Knochen zusammenstossen, eine abgerundete Gestalt besitzt. Im Ganzen bleibt indessen das Bild richtig und es kann daher nach Erkennung der ausgesprochenen Modifikation weiter benutzt werden.

Durch diese Anordnung ist für's Erste der an der Spitze des Tangentenwinkels aufgehangene Arm von dem Rumpfe abgerückt und hat dadurch den doppelten Vortheil freierer Beweglichkeit und günstigerer Anheftungsweise seiner Muskeln, — und für's Zweite ist durch die dreieckige Lücke zwischen dem Schultergürtel und der Thoraxperipherie der

nöthige Raum gegeben für geschützten Zutritt der Nerven und der Gefässe an den Arm.

Der Berührungspunkt des Schlüsselbeines ist sehr nahe der vorderen Mittellinie und durch Artikulation festgestellt. Der Berührungspunkt des Schulterblattes ist dagegen etwas ferner von der hinteren Mittellinie und ist frei beweglich. Deswegen kann denn auch der ganze Schultergürtel bewegt und in verschiedene Lagen gebracht werden, wobei das Sterno-Klavikular-Gelenk den Mittelpunkt der Bewegung abgibt. Dass dabei der oben der Klavikula gegebene tangentiale Charakter nicht rein gewahrt bleibt, darf nicht stören, da ja jenes Bild nur den Werth eines annähernden Vergleiches hat.

Bei diesen Bewegungen wird dem Winkel zwischen Schlüsselbein und Schulterblatt eine veränderte Stellung mehr gegen vornen oder mehr gegen hinten gegeben, und wenn dabei das Schulterblatt in Berührung mit dem Thorax bleiben soll, so muss bei den Bewegungen nach rückwärts der Winkel stumpfer werden und bei den Bewegungen nach vorwärts spitzer. Eine solche Veränderlichkeit des Winkels ist zwar durch die Beweglichkeit der beiden Knochen gegen einander gestattet, aber doch nur bis zu einer gewissen Grenze und deshalb kann der Fall vorkommen, dass das Schulterblatt von der hinteren Fläche des Thorax »flügelförmig« abgehoben wird, so dass durch den äusseren Luftdruck die Haut in Gestalt einer tiefen Grube unter die *basis scapulae* gedrängt wird. Dieser Gegenstand ist indessen bei anderer Gelegenheit wieder aufzunehmen.

Für jetzt ist nur das Genauere über die Lage der Theile des Schultergürtels zu formuliren.

In Bezug auf Oben und Unten wird man hierfür in keiner Verlegenheit sein, weil der vordere Theil des Schlüsselbeines auf dem vorderen Theile der ersten Rippe ruht und auf diesem durch die Schwere des Armes fixirt wird. Die Lagerung mehr gegen vornen oder mehr gegen hinten ist jedoch nicht in so bestimmter Weise festgestellt; sie wird mehr durch individuelle Verhältnisse bedingt und fällt deshalb mehr in den Charakter der Haltung als der Lagerung.

Man ist aus diesem Grunde auch befugt, unter denjenigen Haltungen, welche möglich sind oder gefunden werden, eine beliebige auszusuchen und als typisch hinzustellen. Massgebend dafür hat zu sein,

1) die Möglichkeit einfacher Formulirung;
2) die Möglichkeit, die gewählte Stellung als Ausgangspunkt für Bezeichnung anderer Stellungen zu benutzen.

Von diesem Standpunkte aus sei Folgendes als typische Stellung des Schultergürtels im aufrechten Stehen aufgestellt:

Beide Schlüsselbeine liegen in einer horizontalen Ebene so, dass die Mittellinien ihrer beiden Akromialtheile in dieselbe gerade Linie fallen; bei dieser Lage der Schlüsselbeine liegen die Ebenen der Akromialgelenke und der *processus coracoides* des Schulterblattes gerade parallel der Mittelebene des Körpers.

Diese als typisch aufgestellten Lagenverhältnisse sind nur mittlere, welche den Vortheil bequemer Formulirung besitzen. Diesen gegenüber sind jedoch noch einige Typen aufzustellen, welche ausserdem, dass sie als besondere Typen der Haltung hingestellt zu werden verdienen, auch noch das Interesse gewähren, dass sie den Einfluss des Muskeltonus auf die Haltung des Schultergürtels nachweisen und damit zugleich ein Beispiel überhaupt für den Einfluss dieses Faktors auf solche Haltungen geben, welche nicht allein durch Schwere und Bänderspannung bedingt werden können.

Die alleinige Anheftung an dem Sternum muss natürlicher Weise dahin führen, dass der Schwerpunkt des Armes und des Schultergürtels unter diesen Aufhängepunkt in stabiles Gleichgewicht zu rücken bestrebt ist. Man kann dieses an jedem Skelet sehen, an welchem nicht besondere Vorrichtungen für Fixirung des Schulterblattes getroffen sind. Die ganze Schulter sinkt dann um das Sterno-Klavikulargelenk als Mittelpunkt in einer Kreislinie, zu welcher die Klavikula Radius ist, soweit als möglich nach vornen hinab. Dasselbe kann man auch an aufgerichteten Leichen wahrnehmen, welche nicht mehr den *rigor mortis* zeigen; — und ebenso findet man es bei unkräftigen Individuen, namentlich wenn diese, wie dies bei ihnen gewöhnlich ist, etwas vornüber gebückt stehen, wodurch dem Schlüsselbeine die Stützung durch die erste Rippe noch mehr benommen wird. Die nach vornen herunter gefallene Schulter gehört deswegen zu dem Ausdrucke lang aufgeschossener Knaben, bei welchen die Muskelkräftigung nicht in entsprechender Weise nachgefolgt ist. Das kraftlose Herabhängen des Armes an der tiefer gestellten Schulter ergänzt an diesem Bilde noch die scheinbare Langarmigkeit solcher Knaben, — und die veränderte Lage des Schulterblattes, welches sich dabei mehr der Seitenfläche des Thorax anlegen muss, ergänzt daneben die gleichzeitige pronatorische Haltung des ganzes Armes.

Zeigt uns dieses Beispiel den Einfluss der Muskelschwäche auf die Stellung des Schultergürtels, so weist es uns zugleich darauf hin, dass die gewöhnlichen Haltungen der Schulter, für welche oben ein mittlerer Typus aufgestellt worden ist, unter wesentlicher Mitwirkung derjenigen Muskeln zu Stande kommen, welche das Schulterblatt nach hinten hinaufziehen.

Weiteren Beweis dafür geben uns dann auch noch solche Haltungen des Schultergürtels, welche unter dem unverkennbaren Einflusse von

Muskeln stehen, indem der Nachweis offen da liegt, dass sie durch Muskelwirkung ursprünglich mehr oder weniger willkürlich erzeugt und oftmals auf die gleiche Weise wieder ausgeführt, endlich habituell werden. Hierher gehören vor Allem zwei nicht seltene Formen der Schulterhaltung. — Die eine derselben kommt hauptsächlich durch den *m. serratus magnus* zu Stande, durch welchen das Schulterblatt so nach vornen gezogen wird, dass das Schlüsselbein möglichst quer gelegen ist, und deshalb dem Beschauer von vorn seine grösste Längenansicht darbietet. — Der ursprüngliche Zweck dieser Haltung ist, einen möglichst günstigen Eindruck vorhandener Schulterbreite zu geben.

Die zweite ebenfalls durchaus nicht seltene Form ist diejenige, bei welcher der Schultergürtel stark aufwärts und rückwärts gezogen wird, um den Eindruck von breiter Brust und von Muskelkraft zu geben. — Diese Form pflegt reiner der Ausdruck überwiegenden Muskeleinflusses auf die Haltung des Schultergürtels zu sein, indem sie sich bei sehr muskelkräftigen Individuen auch in ungesuchter Weise einzustellen pflegt, während die erste Form nur die Folge zweckvoller Angewöhnung ist.

Beide Formen aber zeigen im Vereine mit dem früheren Beispiele, dass die Haltung des Schultergürtels nicht allein durch seine Bandverbindungen und seine Anlagerung an den Thorax, sondern auch sehr wesentlich durch die an ihm und namentlich an dem Schulterblatte angehefteten Muskeln bedingt wird.

Die Stellung des Humerus wird durch das Schulterblatt bestimmt. Sein oberes Gelenkende wird bekanntlich von einer Anschwellung (*caput chirurgicum*) gebildet, welche wieder in die zwei Theile zerlegt wird, nämlich die wirkliche Gelenkfläche (*caput anatomicum*) und das, dem Trochanter des Femur analoge *tuber humeri*. — Der Gelenkkopf hat in der Richtung von oben nach unten einen Bogenwerth von c. 150^0 und da seine Begrenzung ungefähr kreisrund ist, so kann man ihm diesen Werth nach allen Seiten hin geben, indem man ihn für einen Kugelabschnitt ansehen kann. — Seine Axe, d. h. der den Mittelpunkt des Kugelabschnittes treffende Radius steht in 40^0 Neigung gegen die Senkrechte, wobei dieser Winkel nach oben offen ist. Als Senkrechte ist in dem Knochen selbst die Linie anzusehen, welche den Mittelpunkt des *caput humeri* mit dem Mittelpunkte der *rotula* an dem unteren Ende des Humerus verbindet.

Anmerkung: Wenn man das *caput humeri* als einen Kugelabschnitt ansieht, so hat man nicht ganz die richtige Auffassung seiner Gestalt, denn es ist ein eigenthümlich eiförmiger Körper, dessen Krümmungsradius für den Durchschnitt von oben nach unten grösser ist als für den durch die Axe gelegten Durchschnitt von vornen nach hinten; — und in diesem letzteren besitzt wieder der hintere Theil einen kleineren Krümmungshalbmesser als der vordere Theil.

Wie aus dem früher Entwickelten hervorgeht, besitzt das Schulterblatt eine schiefe Lage der Art, dass das *caput scapulae* weiter nach vornen gelegen ist als die *basis scapulae*. Anscheinend ist dieses zwar nicht der Fall, da man bei einem kräftigen Individuum mit fester Haltung der Schulter die das Schulterblatt wiedergebende Fläche auf dem Rücken als eine fast ganz quer gelegene Fläche erkennt, so dass die rechtseitige und die linkseitige Schulterblattfläche ungefähr in dieselbe Ebene fallen. Um in diesem Verhalten der Schulterblätter keinen Widerspruch gegen die angegebene Schieflage der Schulterblätter zu finden, hat man nur zweierlei zu berücksichtigen, nämlich:

1) ist die besprochene Lage der Schulterblattflächen an dem Rücken nur bei stärkstem Zurückziehen der Schulterblätter gegen die Wirbelsäule hin wahrzunehmen, und allerdings ist die Schieflage des Schulterblattes, wegen seiner tangentialen Lage zu der Peripherie des Thorax um so geringer, je mehr das Schulterblatt rückwärts gezogen ist, und um so stärker, je mehr es nach vornen fällt: — die besprochene Lage der Schulterblattflächen an dem Rücken entspricht also der geringsten Schieflage des Schulterblattes;
2) ist auch zu berücksichtigen, dass jene am unversehrten Körper sichtbare Schulterblattfläche durch die Muskulatur, insbesondere durch den *m. infraspinatus* bestimmt wird, dessen hintere Fläche sie bezeichnet. Der *m. infraspinatus* füllt aber die ganze *fossa infraspinata* aus und die Begrenzungen dieser Grube, so weit sie am Rande des Muskels sichtbar sind, müssen deshalb in die gleiche Ebene mit der hinteren Fläche des Muskels fallen. Diese Begrenzungen sind aber die *basis scapulae*, so weit sie unterhalb der *spina* gelegen ist, und der freie hintere Rand der *spina*.

Wenn also diejenige Lage der Schulterblattflächen, welche in scheinbarem Widerspruche mit der Angabe einer Schieflage des Schulterblattes steht, sich herausstellt: 1) als extremste Lage in dem der Schieflage entgegenstehenden Sinne und 2) als bestimmt nicht durch den Körper des Schulterblattes, sondern durch den freien Rand der *spina*, — so ist hierdurch nicht nur die Schieflage überhaupt erst noch sehr bestimmt bestätigt, sondern es ist auch noch ein Mass für den Grad der Schieflage gewonnen, dass dieselbe nämlich im Minimum so viel beträgt, als die Erhebung des freien Randes der *spina* über den Körper des Schulterblattes.

Die so eben etwas genauer ausgeführte Schieflage des Schulterblattes bestimmt nun ihrerseits wieder die Lage des Humeruskopfes, indem von diesem gesagt werden kann, dass er in möglichst vollständiger seitlicher Symmetrie zu dem Schulterblatte steht. Die senkrechte Ebene, welche man durch die Axe des Gelenkkopfes des Humerus legen kann,

welche also diesen in zwei symmetrische Hälften zerlegt, spaltet auch das *tuber humeri* in zwei symmetrische Hälften, und in das Schulterblatt fortgesetzt, fällt sie annähernd zusammen mit der Ebene des Körpers des Schulterblattes unterhalb der *spina* und theilt der Länge nach die *fossa supraspinata*. Das *tuberculum superius* liegt auf diese Weise gerade der *fossa supraspinata* gegenüber, und ebenso das *tuberculum anterius* der *fossa subscapularis* und das *tuberculum posterius* der *fossa infraspinata*. Die Sehnen der aus diesen Gruben an die entsprechenden *tubercula* tretenden, den Gruben gleichnamigen Muskeln, müssen demnach den Humeruskopf nach oben, vornen und hinten ganz gleichmässig einschliessen, und, da sie 1) sehr stark, 2) mit der Kapsel verschmolzen und 3) mit ihren aneinander liegenden Rändern unter einander eng verbunden sind, eine feste Kappe darstellen, welche das Gelenk an den drei bezeichneten Seiten umlagert. Nur zwischen den unteren Rändern des *m. subscapularis* und des *m. infraspinatus* (beziehungsweise der als *m. teres minor* besonders beschriebenen Randportion dieses Muskels) liegt ein kleiner schwächerer Theil der Kapsel frei, und dieses ist deshalb auch der einzige Weg, auf welchem bei Luxationen der Humeruskopf aus seiner Gelenkhöhle hervortreten kann.

Die angegebenen drei Sehnen sind nun zwar mit der Kapsel so eng verschmolzen, dass sie fast als ein konstituirender Theil derselben angesehen werden können, indessen findet sich unter ihnen in dem oberen Theile des Gelenkes noch ein starker Bandfaserzug, welcher von dem *processus coracoides* und der oberen Peripherie der *cavitas glenoides* des Schulterblattes entspringt und sich an den oberen Theil des *tuber humeri* ansetzt (*ligamentum superius humeri*).

Die Gelenkpfanne an dem *caput scapulae* ist im Verhältniss zu der Grösse des Gelenkkopfes, welcher auf ihr sich zu bewegen hat, sehr klein, indem sie nach beiden Richtungen nur etwa den halben Bogenwerth des Gelenkkopfes besitzt. Bei solcher relativen Kleinheit muss sich der Vortheil ergeben, dass dadurch ein genaueres Anpassen an die, wie oben gezeigt, nicht gleichmässig gekrümmte Oberfläche des Oberarmkopfes möglich ist; denn die Verschiedenheit in der Congruenz der beiden Gelenkflächen wird dabei nie so stark hervortreten und leichter ausgeglichen werden können. Als Mittel für die Ausgleichung erscheint einestheils die Elasticität der Gelenkknorpel und anderentheils ein *labrum cartilagineum* der *cavitas glenoides* von sehr bedeutender Höhe und bedeutender Breite seiner Anheftungsbasis. Dieses *labrum cartilagineum* bildet einen nicht unbeträchtlichen Theil der ganzen Gelenkfläche und liegt als ein durchaus akkommodationsfähiges Ringpolster in der Peripherie derselben. Man könnte die so ausgestattete *cavitas glenoides* fast einem Saugnapf vergleichen, wie ihn die Sepien besitzen.

Wegen des beträchtlichen Unterschiedes in der Grösse beider Gelenkflächen kann immer nur ein Theil des *caput humeri* an der *cavitas glenoides* anliegen. Für die mittlere Stellung des Gelenkes ist dieses natürlich der mittlere Theil des Kopfes und die auf diesem liegende Peripherie der *cavitas glenoides* muss dabei annähend koncentrisch zu der Peripherie des ganzen Kopfes liegen. Der ganze Arm ist dabei in der durch die Fläche des Schulterblattkörpers bezeichneten Ebene abduktorisch gehoben und zwar um gegen 40°, weil der Bogenwerth des Humeruskopfes ungefähr 150° beträgt und derjenige der *cavitas glenoides* ungefähr halb so gross ist. Bei flacher Rückenlage nimmt der Arm sehr gerne diese Stellung ein, im aufrechten Stehen kann er sie jedoch nicht einhalten, weil hier als neuer bestimmender Faktor die Schwere mit hinzukommt. Dieser folgend sinkt der Arm dann in die senkrechte Lagerung herab, und die senkrechte Stellung des Armes im stabilen Gleichgewicht hat man deshalb als die Ruhelage des Arms im aufrechten Stehen anzusehen; die Abduktion ist dabei aufgehoben und die untere Hälfte des *caput humeri* liegt auf der Gelenkfläche des Schulterblattes.

Die Gelenkfläche des *caput scapulae* hat eine im Ganzen senkrechte Richtung und der untere Theil der Gelenkfläche des Humerus, welcher ihr in der Ruhelage anliegt, besitzt dieselbe Hauptrichtung. In diesem Gelenke ist demnach der eigenthümliche Fall, dass zwei verhältnissmässig sehr kleine Flächen in möglichst ungünstiger Weise mit einander vereinigt sind, indem schon die Schwere der Extremität in der Ruhelage so wirkt, dass sie offenbar die Fläche des Humeruskopfes von der *cavitas glenoides* leicht in gleitender Weise muss abziehen können. Irgend eine Hemmung durch stärkeres Umgreifen der Hohlfläche, wie in dem Hüftgelenke oder in dem gestreckten Ellenbogengelenke ist hier nicht vorhanden und ebenso wenig ein fixirendes Aufeinanderdrücken durch die Schwere, wie in dem Knie des stehenden Beines; und die Schwerewirkung des Armes findet nicht einmal den Widerstand, welchen ein Auseinanderzerren zweier Berührungsflächen dann findet, wenn die Zugrichtung senkrecht zu den Flächen gestellt ist.

Weder die Adhäsion noch der Luftdruck können diese beiden Flächen in Berührung halten. — Die Adhäsion kann zwar einem Auseinanderreissen der Flächen Widerstand entgegen setzen, aber einer gleitenden Verschiebung setzt sie einen nennenswerthen Widerstand nicht entgegen, und der Luftdruck könnte eine solche gleitende Verschiebung auch nicht verhindern, denn seine Wirkung geht ja nur dahin, den Gelenkhöhlenraum durch Hineindrängen seiner weichen oder beweglichen Umgebung auszufüllen, und eine direkte Einwirkung auf die Gelenk flächen als solche kann er nicht äussern. — In Wirklichkeit findet man auch, dass unter gewissen Verhältnissen der Arm, seiner Schwere folgend,

herabsinkt, indem sein *caput humeri* von der *cavitas glenoides* nach unten abgleitet; der Luftdruck drängt dann in diesen Fällen die Weichtheile unter dem Akromion in rinnenförmiger Gestalt in den Raum hinein, aus welchem das *caput humeri* ausgewichen ist.

Gerade diese Fälle aber geben, während sie einerseits das Ungenügende der Adhäsions- und der Luftdruckwirkung nachweisen, einen beachtenswerthen Wink darüber, wo der wichtigste Faktor für die Fixirung der Gelenkflächen auf einander zu suchen sei. Es geht nämlich aus diesen Fällen unzweifelhaft hervor, dass die bezeichnete Wirkung bei weitem zum grössten Theile den Muskeln beizumessen ist.

Untersucht man die das Schultergelenk umgebende Muskulatur in dieser Beziehung, so findet man auch in den drei Hauptrichtungen eine schlingenförmige Anordnung von je zwei Muskeln, wodurch dann allseitig das Andrücken zu Stande gebracht wird.

In horizontaler Richtung bilden der *m. subscapularis* und der *m. infraspinatus* eine Schlinge, welche über den Mittelpunkt des Kopfes hingeht. Beide Muskeln haben zwar eine schiefe Richtung ihres mittleren Verlaufes, und ihr Zug zerfällt deswegen in eine horizontale und eine vertikale Komponente. Die horizontale Komponente ist es, welche für diesen Augenblick allein in Rechnung kömmt, weil sie allein die horizontale Schlinge bildet; ausserdem ist sie aber auch ganz entschieden die stärkste, denn für die mittlere Zugrichtung der bezeichneten Muskeln kann die mathematische Mittellinie des Ursprungsdreiecks nicht massgebend sein, weil die Muskelmasse dieses Dreieck nicht gleichmässig deckt, sondern sich mehr gegen die Wurzel der *spina* hin koncentrirt; die mittlere Zugrichtung muss demnach auch näher der Wurzel der *spina* gelegen sein, also eine horizontalere Richtung haben, wozu auch noch der Umstand beiträgt, dass die obersten Theile beider Muskeln eine absteigende Richtung besitzen.

Die senkrechten Komponenten beider Muskeln bilden, zu einer Resultirenden vereinigt, mit dem *m. supraspinatus* zusammen eine vertikale über den Humeruskopf gelegte Schlinge, welche im Vereine mit der oben besprochenen horizontalen Schlinge den Humeruskopf in der durch die Wurzel der *spina scapulae* bezeichneten Linie in die *cavitas glenoides* hineindrückt.

Die dritte Schlinge drängt der Schwere entgegen den Humeruskopf nach aufwärts und ihre Wirkung findet einen abschliessenden Widerstand an dem Anstossen des Humeruskopfes, oder vielmehr der denselben deckenden Sehne des *m. supraspinatus* an das Akromion, weshalb sich auch zwischen beiden ein Schleimbeutel zeigt. Diese Schlinge wird gebildet durch den *m. deltoides* und den *m. coraco-brachialis*; indessen ist zu beachten, dass die letzten Fasern des *m. deltoides* sowohl an der vor-

deren als an der hinteren Seite einen so schiefen Verlauf haben, dass man den *m. deltoides* in Bezug auf die in Rede stehende Wirkung füglich in zwei Theile zerlegen kann, in einen vorderen und einen hinteren Theil nämlich; die schief gehende mittlere Richtung beider zerfällt dann in eine vertikale und eine horizontale Komponente. Die vereinigten vertikalen Komponenten beider Theile sind dann als der zweite Theil der Schlinge anzusehen, zu welcher der *m. coraco-brachialis* der erste Theil ist. — Die horizontalen Komponenten beider Seiten werden indessen für die Fixirung des Humeruskopfes nicht verloren gehen, wenn sie den Humerus auch eine gewisse Strecke unterhalb des Kopfes angreifen. Sie müssen nämlich dem Humerus einen adduktorischen Zug geben, welcher, an dem *m. supraspinatus* einen Widerstand findend, als Andrücken des Humeruskopfes in die *cavitas glenoides* in die Erscheinung treten muss. Diese beiden Komponenten bilden demnach eine Ergänzung zu der oben besprochenen vertikalen Schlinge deren oberes Element der *m. supraspinatus* ist.

Zu diesen Wirkungen, welche durch die nur auf das Schultergelenk einwirkenden Muskeln ausgeübt werden, kommen als mehr zufällige, aber doch nicht zu unterschätzende Elemente die Wirkungen des langen Kopfes des *m. triceps* und beider Köpfe des *m. biceps brachii*. Von den letzteren wird allerdings der lange Kopf in der Ruhelage des Armes eher eine abwärts drückende Wirkung haben, welche aber, wie oben gezeigt, Widerstände genug findet; indessen muss derselbe bei gehobenem Arme ebenfalls andrängend für den Humeruskopf wirken.

Das Schultergelenk bietet demnach ein besonders interessantes Beispiel von der grossen Bedeutung der Muskeln für die gegenseitige Fixirung zweier Gelenkflächen; — gerade so, wie auch die Haltung des Schulterblattes in seiner Ruhelage ebenfalls als von der Wirkung der Muskeln abhängig erkannt ist; — und wir finden gerne in diesen beiden Verhältnissen eine Erklärung für die grosse Leichtigkeit und Sicherheit in den Bewegungen des Schulterblattes und des Humerus, indem beide keinen Augenblick ohne unmittelbare Einwirkung aller sie bewegenden Muskeln sind, und ihre Ruhelage fast allein durch Gleichgewicht zwischen den einzelnen Muskelwirkungen zu Stande kommt.

B. Die Bewegungen des Schultergelenkes.

Will man die Bewegungen in dem Schultergelenke analysiren, so kann man zwei Ausgangspunkte für dieselben wählen und demgemäss auch in zweierlei Art die massgebenden Axen legen. Man kann nämlich von der mittleren Lage ausgehen oder von der Ruhelage; das Letztere ist vorzuziehen, weil die Gewohnheit, den Arm in der Ruhelage zu sehen, am Leichtesten gerade diese als den Ausgangspunkt der Bewegungen

auffassen lässt, — und weil dabei die Möglichkeit gegeben ist, eine der Bewegungsaxen mit der Längenaxe des Humerus zusammenfallen zu lassen.

Ferner kann man auch für die Lagerung der Axen entweder die Mittelebene des Körpers massgebend sein lassen oder die Ebene des Schulterblattes. Im ersten Falle würden zwei Axen parallel der Mittelebene liegen und eine senkrecht zu dieser, — im zweiten Falle würden die vertikale und eine horizontale Axe in die fortgesetzte Ebene des Schulterblattes fallen und die andere horizontale Axe würde diese Ebene senkrecht durchschneiden. — Da die Bewegungen des Humerus zunächst an dem Schulterblatte geschehen und ihre Beziehungen zu dem Rumpfe stets andere werden, je nachdem das Schulterblatt gestellt ist, so ist das Naturgemässe, die Ebene des Schulterblattes als massgebend für die Axen aufzustellen.

Wenn man nun die drei Axen, nach welchen alle Bewegungen eines Kugelgelenkes zu beurtheilen sind, nach Massgabe der Ebene des Schulterblattes in das Schultergelenk bei dessen Ruhelage hineinlegt, so bekommt man folgende drei Axen:

1) eine horizontale Axe, welche ungefähr in der fortgesetzten Richtung der Wurzel der *spina scapulae* durch den Humeruskopf geht; um diese Axe, welche für das Gelenk die Rotationsaxe ist, findet eine Bewegung des Armes in einer Ebene statt, welche senkrecht zur Ebene des Schulterblattes steht; es ist die Ebene, in welcher die Pendelschwingungen des Armes beim Gehen gelegen sind; jene Axe ist demnach die Axe für diese Pendelbewegungen. Sie mag deswegen die Pendelaxe heissen. Ihre Richtung wird je nach der Lage des Schulterblattes mehr gegen aussen oder mehr gegen vornen gerichtet sein, und die Pendelebene der Arme muss danach auch eine verschiedene Lage haben. Man sieht deshalb auch bei solchen Personen, welche die Schulter stark rückwärts gezogen tragen, die Pendelung der Arme mehr parallel der Mittelebene des Körpers geschehen, und bei Personen, welche die Schulter nach vornen fallen lassen, mehr quer vor dem Körper vorbei;

2) eine zu dieser senkrecht gestellte horizontale Axe, um welche die Abduktionen und Adduktionen des Armes in der fortgesetzten Ebene des Schulterblattes zu Stande kommen; sie heisse darum die Abduktionsaxe;

3) eine zu diesen beiden senkrecht gelegene vertikale Axe, welche in der Ruhelage des Armes den Mittelpunkt des Humeruskopfes nicht nur, sondern auch in ihrer Fortsetzung den Mittelpunkt der *rotula* für den Radius an dem Ellenbogenende des Humerus

enthält. Weil um diese Axe die Rotationen des Armes ausgeführt werden, heisse sie die Rotationsaxe.

Die genaue Durchführung der Art, wie die Bewegungen um diese Axen geschehen, würde allerdings verlangen, dass dieselben als im Raum feststehend angesehen und dann die Bewegungen nach ihnen beurtheilt würden; — indessen ist doch eine solche Benutzung der Axen vorzuziehen, welche den ganzen Umfang der möglichen Bewegungen in möglichst einfacher Weise überblicken lässt.

Man erreicht dieses, wenn man sämmtliche drei Axen als in dem Humeruskopfe festliegend ansieht, so dass sie sich mit dem Humerus selbst bewegen, und bei feststehender Lage zu dem Humerus mit diesem ihre Lage im Raume überhaupt und dem Schulterblatte gegenüber insbesondere ändern können. Diese Auffassung gewährt den Vortheil, dass bei ihrer Durchführung nur zwei Axen, welche man sich stets leicht vergegenwärtigen kann, massgebend für die Stellung des Armes sind, nämlich die Abduktionsaxe und die Pendelaxe; — die dritte Axe, die Rotationsaxe, wird dann in jeder Stellung bestimmend für die Lage der Flexionsebene des Ellenbogengelenkes.

Um nun den ganzen Umfang der möglichen Bewegungen des Armes mit Anwendung des angegebenen Hülfsmittels zu überblicken, hat man nur die folgende Operation nöthig:

Die Bewegungen um die Pendelaxe geschehen in einer zur Ebene des Schulterblattes senkrecht gestellten Ebene, der Pendelebene, und besitzen einen Schwingungsbogen von ungefähr 150°, von welchen etwa 90° vor und etwa 60° hinter die senkrechte Stellung fallen. Mit Ausführung der Pendelschwingung muss dann auch die in dem Humeruskopfe feststehend gedachte Abduktionsaxe eine Reihe von veränderten Stellungen erhalten, so dass sie in der extremsten Pendelstellung nach vornen ungefähr senkrecht steht und in der extremsten Pendelstellung nach hinten in einer Neigung von ungefähr 60° gegen den Horizont. In der ersten Stellung ist das vordere Ende der Abduktionsaxe oben, in der zweiten das hintere Ende derselben; für die mittlere Stellung des Radius in dem Unterarm drückt sich dieses auch dadurch aus, dass in der vordersten Pendelstellung der Daumen oben ist und in der hintersten Pendelstellung der kleine Finger. — In jeder einzelnen Stellung innerhalb der Pendelebene kann dann der Humerus eine Bewegung um die Abduktionsaxe ausführen und zwar sowohl in dem abduktorischen als auch in dem adduktorischen Sinne. Diese Bewegung muss in einer Ebene geschehen, welche senkrecht auf der Pendelebene steht und muss eine Schieflage gegen den Horizont besitzen, welche durch die jeweilige Stellung des Humerus in der Pendelebene bestimmt wird. Jede einzelne Ebene dieser Art (Abduktionsebene) ist ein Kreisausschnitt, welcher ebenfalls

ungefähr 150 ⁰ beträgt, von welchen ungefähr 90 ⁰ nach aussen von der Pendelebene liegen und ungefähr 60⁰ nach innen von derselben. Indessen ist zu beachten, dass aus den der senkrechten Stellung des Humerus zunächst gelegenen Pendelstellungen die Adduktionsbewegungen durch den Rumpf beschränkt werden und dass das Mass von 60 ⁰ für die adduktorischen Bewegungen deshalb nur für diejenigen Pendelstellungen gültig sein kann, welche eine ungehemmte Adduktion gestatten. — Da nun sämmtliche Abduktionsebenen senkrecht auf Radien der Pendelebene gestellt sind, so müssen sie sich nothwendig alle in einer Linie durchschneiden, welche senkrecht auf dem Mittelpunkte der Pendelebene steht, und die Lage dieser Linie wird bestimmt durch die stärkste bis zur horizontalen Lage geführte Abduktion des Humerus. — Nimmt man nun zuerst nur auf die abduktorischen Bewegungen Rücksicht, so ist es bei der stets gleichbleibenden Länge des Armes deutlich, dass der Raum, in welchem alle diese Bewegungen stattfinden, Theil einer Halbkugel ist, als deren Basis die Pendelebene dasteht und zwar ist es ein solcher Theil, dessen Basis 150 ⁰ von der Basis der Halbkugel beträgt. Rechnet man noch die adduktorischen Bewegungen hinzu, so erhält man als Mass der möglichen Bewegungen des Humerus im Schultergelenk einen Kugelausschnitt, welcher durch ein sphärisches Dreieck bestimmt wird, in welchem jede Seite 150 ⁰ hat; die begrenzenden Radien (Ecken des sphärischen Dreiecks) sind gegeben 1) durch die extremste Abduktionsstellung in der Ebene des Schulterblattes, 2) durch die extremste Adduktionsstellung aus der hintersten Pendelstellung, und 3) durch die extremste Adduktionsstellung aus der vordersten Pendelstellung. — Es ist jedoch hierbei noch einmal daran zu erinnern, dass ein Theil der adduktorischen Stellungen durch Hemmung von Seiten des Rumpfes unmöglich gemacht und dadurch das angegebene Gebiet in etwas beschränkt wird.

In einer jeden Stellung, welche dem Humerus innerhalb dieses Gebietes möglich ist, kann er dann eine Drehung um seine Rotationsaxe ausführen. Die Stellung desselben wird zwar dadurch natürlich nicht verändert, aber die von der Stellung der Humerusrolle abhängige Flexionsebene wird dadurch in verschiedene Stellungen gebracht. Auch diese Bewegung hat eine Grösse von ungefähr 150⁰, welche hauptsächlich gegen vornen und innen liegen.

Anmerkung: Die oben gegebene Darstellung des Umfanges der möglichen Bewegungen des Schultergelenkes ist zwar, wie ich nicht leugnen will, etwas scharf in mathematischer Form schematisirt und namentlich sind auch die Bewegungsgrössen in der Angabe nach ihrem Winkel- oder Bogenwerth nur annähernd in runden Zahlen gegriffen. Ich glaube indessen nicht, dass man dieses als einen Einwand gegen diese Darstellung darf geltend machen und zwar aus folgenden Gründen:

1) Bei den individuellen Schwankungen in den verschiedenen Grössen ist es gestattet, im Interesse einer einfacheren Darstellung beliebige bequeme Grössen für die Benutzung herauszugreifen, wenn diese nur innerhalb der Grenze der individuellen Schwankungen liegen.

2) Genauer durchgeführte Messungen an einem oder mehreren Individuen würden allerdings eine scheinbar grössere Genauigkeit gegeben haben, aber diese Genauigkeit wäre eben, weil nur individuell gültig, auch nur eine scheinbare gewesen, und hätte nur die Darstellung erschwert, ohne zu anderen Sätzen zu führen.

3) Ein solcher mathematisch schematisirter Typus, wie der oben gegebene, ist, wenn auch vielleicht nicht für einen einzigen Fall zutreffend, doch eine geeignete einfache Basis, welche leicht einem individuellen Falle entsprechend modificirt werden kann.

Scheinbar ist der Umfang der Bewegungen des Humerus und somit des ganzen Armes ein grösserer als der angegebene, denn wir können denselben mit Leichtigkeit noch in Lagen bringen, welche die angegebenen Grenzen weit überschreiten. Damit aber in dieser Thatsache kein Widerspruch gegen das oben Entwickelte erkannt werde, ist es nothwendig, darauf aufmerksam zu machen, dass die verschiedenen Stellungen, welche der Humerus überhaupt im Raume einnehmen kann, nicht nur von seinen Bewegungen an dem Schulterblatte abhängig sind, sondern auch von der Stellung des Schulterblattes oder des ganzen Schultergürtels an dem Rumpfe und von der Haltung des Rumpfes selbst. — Ein einziges Beispiel wird genügen, dieses in deutlicher Weise vor Augen zu führen. In dem Obigen wurde nämlich als obere Grenze der Bewegungen des Humerus die ungefähr horizontale Lage desselben angegeben und doch sind wir im Stande, den Arm senkrecht zu erheben. Analysirt man aber diese Bewegung genauer, so findet man, dass die Erhebung des Armes in seinem Gelenke an dem Schulterblatte allerdings nur bis ungefähr zu horizontaler Lage gebracht werden kann; — weitere Erhebung kommt dann nur dadurch zu Stande, dass der in dieser extremsten Stellung an dem Schultergürtel fixirte Humerus mit dem ganzen Schultergürtel in dem Sternoklavikulargelenke gehoben wird, — und wenn diese Bewegung nicht ausreicht, so hilft noch eine seitwärtse Biegung der Wirbelsäule nach, wobei die Konvexität der Krümmung auf der Seite des gehobenen Armes ist.

C. Die Bewegungen der Schulter.

Die Bewegungen, welche in der Schulter wahrgenommen werden, sind je nach ihrem Umfange oder auch nach dem Primären zunächst von zweierlei Art. Primär angegriffen kann nämlich sein entweder der Schultergürtel oder der Arm, und danach richtet sich auch zum grössten

Theile der Umfang der Bewegungen, namentlich so weit es die Mitwirkung von Muskeln angeht.

Die primären Bewegungen des Schultergürtels bedingen veränderte Lagen oder Stellungen des Schulterblattes; diesen folgt dann nothwendig der Humerus und gewinnt dadurch veränderte Ausgangspunkte für seine Bewegungen an dem Schulterblatte. Der Umfang der hierfür in Anspruch genommenen Muskelaktionen ist im Ganzen ein Geringer, denn er beschränkt sich auf einzelne Muskeln, welche vom Rumpfe zu dem Schultergürtel gehen.

Ist aber der Humerus das primär Angegriffene, dann treten nicht nur sekundäre Verschiebungen des Schultergürtels ein, sondern es werden auch in vielen Fällen noch Muskelaktionen angeregt, welche die Verschiebungen des Schultergürtels noch unterstützen oder antagonistisch modificiren.

In grösstem Umfange aber machen sich Muskelaktionen geltend, wenn der Humerus das primär Angegriffene ist und dann fixirt zum *punctum fixum* wird, welches massgebend ist für weiter nothwendig werdende Bewegungen, mögen diese die Bedeutung haben, den Schultergürtel widerstandsfähiger zu machen, oder mögen sie darauf hinzielen, dem Rumpfe eine Bewegung mitzutheilen.

In der genaueren Ausführung zerfallen also die Bewegungen der Schulter in drei Kategorien, nämlich:

a) Primäre Bewegungen des Schultergürtels, welche dann dem Humerus mitgetheilt werden, indem sie diesen mitnehmen.

b) Primäre Bewegungen des Humerus, welche dem Schultergürtel mitgetheilt werden und auch in diesem theilnehmende aktive Bewegungen hervorrufen können.

c) Bewegungen des Humerus, welche diesen zum *punctum fixum* machen, an welchem dann der Rumpf entweder getragen oder bewegt werden soll.

a. Primäre Bewegungen des Schultergürtels.

Die Beweglichkeit des Schultergürtels beruht zunächst auf der Beweglichkeit des Schulterblattes, welches in Muskulatur eingeschlossen dem Thorax anliegt. An dem menschlichen Knochengerüste ist diese Beweglichkeit durch das Schlüsselbein in gewissen Beziehungen gehemmt, damit ist aber auch zugleich dem Schulterblatte eine grössere Widerstandsfähigkeit gegen Veränderungen seiner Lage gewährt und dadurch die Verwendbarkeit der oberen Extremität erweitert.

Das Schlüsselbein ist an dem Sternum und der ersten Rippe durch eine äusserst feste, mit sehr starken Bändern gesicherte Artikula-

tion verbunden, zu welcher nicht nur ein überaus starkes Kapselband gehört, sondern auch noch lokale Verbreiterungen desselben in Gestalt des *ligamentum interclaviculare* und des *ligamentum costo-claviculare*; dazu gesellt sich ein Meniskus, welchem fast mehr die Bedeutung eines sehr kräftigen Haltebandes zukömmt als diejenige einer *cartilago interarticularis*. Die Bewegungen, deren das Schlüsselbein in diesen Artikulationen fähig ist, sind zwar nicht sehr ausgiebig, aber doch so vielseitig, dass man das Sterno-Clavicular-Gelenk einem freien Gelenke (Arthrodie) wenigstens zu vergleichen pflegt, wenn man es auch nicht direkt als solches bezeichnen darf. Seine Vielseitigkeit verdankt dieses Gelenk auch keineswegs einer für den Charakter einer Arthrodie erforderlichen Kugelgestalt seiner Gelenkflächen, sondern der loseren, wenn auch sehr festen, Bandverbindung, welche dem Gelenke fast mehr den Charakter einer Symphyse gibt. Indessen ist doch eine Form der Bewegung ziemlich genau durch die Gestalt der Gelenkflächen vorgeschrieben und gerade diese gewinnt ein besonderes Interesse dadurch, dass sie bei verhältnissmässig geringer Bewegung in dem Gelenke doch einen sehr ausgiebigen Bewegungseffekt gerade an der Stelle erscheinen lässt, wo er am Wichtigsten wird. Das Sternalende des Schlüsselbeines besitzt nämlich eine kegelförmige Gestalt und die abgerundete Spitze des Kegels liegt in dem unteren mehr gegen innen gestellten Theile der *incisura clavicularis sterni*; das Sterno-Clavicular-Gelenk trägt daher den Grund-Charakter eines einaxigen Gelenkes, welches durch einen kegelförmigen Zapfen in einem entsprechenden Hohlkegel gebildet wird, mag man ein solches als *trochoides* oder als einen modificirten Ginglymus benennen. Die Axe dieses Kegels geht so nach einwärts hinter dem Sternum hinab, dass die Axen beider Seiten sich etwa einen Zoll hinter dem unteren Theile des *manubrium sterni* durchkreuzen. Von der nach vornen verlängerten Axe dieses Kegels ist das Akromialende des Schlüsselbeines so weit entfernt, dass es, mit vollständiger Freiheit um diese Axe sich drehend, einen Kreis von ungefähr 4 Zoll Halbmesser beschreiben würde. Durch dieses Verhältniss ist es gegeben, dass eine verhältnissmässig kleine Drehung um die angegebene Axe im Sterno-Clavicular-Gelenk an dem Akromialende des Schlüsselbeines eine Bewegung hervorbringt, welche zwar den gleichen Bogenwerth hat, aber als eine viel grössere Bewegung in die Erscheinung tritt. Eine Drehung in der einen Richtung bringt daher eine Hebung, und eine Drehung in der anderen Richtung bringt eine Senkung des Akromialendes des Schlüsselbeines hervor, ohne dass an dem Sternalende desselben eine stärkere Bewegung zu Stande käme, und das *ligamentum costo-claviculare* wird für beide in ähnlicher Weise hemmend, wie die *ligamenta alaria* für den Zahn des Epistropheus. Dieses Verhältniss erklärt auch genügend die Thatsache, dass bei der Hebung

des Akromialendes des Schlüsselbeines der hintere Rand desselben sich stärker erhebt und als eine Leiste hervortritt, während er bei einer Senkung nach unten verschwindet. Es ist nicht ohne Interesse, dass der hauptsächlichste Heber des Schlüsselbeines, der *m. cucullaris*, sich gerade an diesen hinteren Rand ansetzt und dadurch direkter auf die Drehung im Sterno-Claviculargelenk einwirkt, so dass die die Hebung begleitende Drehung in ihrem Zustandekommen nicht allein auf die Gestalt der Gelenkflächen des Sterno-Clavikular-Gelenkes angewiesen ist. — Die beschriebene Drehbewegung findet vorzugsweise in dem Gelenk zwischen dem Schlüsselbeine und dem Meniskus statt, denn die Gelenkfläche des Schlüsselbeines trägt entschiedener den Kegelcharakter als diejenige des Sternum, und die dem Schlüsselbeine zugewendete Fläche des Meniskus besitzt auch einen entschiedeneren Gelenkflächencharakter als die dem Sternum zugewendete, indem man diese letztere nicht selten mit der Gelenkfläche des Sternum durch eine Bindegewebeschichte verbunden findet. — Die Verbindung des Schlüsselbeines mit dem Sternum ist demnach eine allseitig leicht bewegliche ohne grössere Exkursionen und die als grössere Exkursion erscheinende Hebung des Akromialendes ist durch oben beschriebene Einrichtung in Wirklichkeit in dem Gelenke selbst nicht eine grössere Bewegung.

An dem Akromialende des Schlüsselbeines ist dann das Schulterblatt an zwei Punkten aufgehangen, zwischen welchen nach unten die *cavitas glenoides* des *caput scapulae* gelegen ist. Die Schwere des an der *cavitas glenoides* aufgehängten Armes wirkt daher in einer Richtung, welche, nach oben fortgesetzt, zwischen die beiden Aufhängepunkte fällt, so dass also die Belastung gleichmässig auf diese beiden vertheilt ist. Eine eigentliche gelenkartige Verbindung, wenn auch einer Symphyse ähnlicher, findet sich an dem *acromion scapulae* und ist durch das starke *ligamentum acromia-claviculare* sehr widerstandsfähig. Auch diese Verbindung gestattet eine allseitige Beweglichkeit; am Freiesten ist die Drehung um eine horizontale Axe, welche senkrecht auf den Berührungsflächen steht; eine Bewegung um eine durch die Verbindung gehende vertikale Axe wird durch das zweite Aufhängeband, das *ligamentum coraco-claviculare* beschränkt; eine Bewegung um eine von vornen nach hinten gehende horizontale Axe wird in der abduktorischen Richtung durch dasselbe Band und in der adduktorischen Richtung durch das Anstossen des *processus coracoides* an die Clavicula beschränkt. — Indessen ist doch die Vereinigung aller vorhandenen Bewegungsmöglichkeiten genügend, der Scapula eine ziemlich freie und leichte Beweglichkeit der Clavicula gegenüber zu gewähren, ohne dass die Festigkeit der Anheftung dadurch beschränkt wäre.

Die **Muskeln**, welche die Bewegungen des Schulterblattes zu Stande bringen, sind der Art, dass sie, den komplicirten *m. cucullaris* vorläufig bei Seite gelassen, in zwei Gruppen zerfällt werden können.

Die erste Gruppe bildet der *m. rhomboides*, der *m. levator anguli scapulae* und der *m. pectoralis minor*. Diese Muskeln haben das Gemeinsame in ihrer Wirkung, dass sie das Schulterblatt gegen die Mittelebene des Körpers hinziehen und ihm eine Rotation in dem Akromio-Clavikular-Gelenk geben, welche die Spitze des Schulterblattes von dem Rumpfe abhebt. Sie wirken also sämmtlich auf das Schulterblatt adduktorisch gegen die Wirbelsäule hin und abhebend (abduktorisch) dem Brustkorbe gegenüber. Je weiter nach vornen einer dieser Muskeln gelegen ist, um so mehr muss die rotirende, d. h. die Schulterblattspitze abhebende Wirkung hervortreten; die geringste Wirkung in diesem Sinne muss daher der *m. rhomboides* haben, eine grössere der *m. levator anguli scapulae*, und die grösste der *m. pectoralis minor*. — Die stärkste adduktorische Wirkung gegen die Wirbelsäule muss dagegen der *m. rhomboides* haben, als derjenige unter diesen drei Muskeln, welcher in der Mittelebene der Wirbelsäule sein *punctum fixum* findet, — die geringste der *m. levator anguli scapulae* als derjenige, welcher, von der Seite der Wirbelsäule (den *processus transversi*) kommend, eine stärkere aufwärts ziehende Komponente besitzt. — Durch die Wirkung eines jeden dieser drei Muskeln muss zugleich das Schlüsselbein nach vornen gestossen werden.

Die zweite Gruppe bildet der *m. serratus magnus*, welcher zwar gewöhnlich als ein einziger Muskel beschrieben wird, aber doch wenigstens in zwei Abtheilungen zerlegt werden muss, welche man als obere und als untere Abtheilung bezeichnen kann. Die obere Abtheilung, von der ersten bis zur dritten oder etwa auch vierten Rippe in ihrem Ursprunge reichend, hat eine absteigende Richtung und greift mit dieser den ganzen inneren Rand (*basis*) des Schulterblattes an. Sie zerfällt wieder in zwei Unterabtheilungen, von welchen die obere, von der ersten und der zweiten Rippe kommende, eine kräftige, gerundete Portion ist, welche in ihrer Anheftung an den *angulus scapulae* sich so an den *m. levator anguli* anreiht, dass sie mit diesem zusammen eine Schlinge bildet, deren Resultirende ein Zug des *angulus* nach oben und vornen ist. Die bezeichnete Portion des *m. serratus* hat dabei mehr Antheil an dem Zuge nach vornen, der *m. levator anguli* aber mehr Antheil an dem Zuge nach oben. — Die zweite Portion der oberen Abtheilung entspringt von der zweiten Rippe (untere Zacke) und von der dritten Rippe, bisweilen betheiligt sich auch noch die von der vierten Rippe kommende Zacke an derselben. Diese Portion geht divergent abwärts und setzt sich an die *basis scapulae* so an, dass sie diese nach vornen hinaufzieht; sie bildet mit dem *m. rhomboides*

zusammen eine Schlinge, welche eine gerade aufwärts ziehende Resultirende besitzt; eine in dieser Resultirenden noch enthaltene Richtung nach vornen wird durch den Widerstand des Thorax aufgehoben. — Die untere Abtheilung des *m. serratus magnus*, durch alle übrigen Zacken dieses Muskels gebildet und koncentrirt an die untere Spitze des Schulterblattes angeheftet, besitzt eine Zugrichtung nach unten und vornen und hat in beiden Beziehungen einen Antagonismus zu dem *m. rhomboides*, mit welchem gemeinsam wirkend sie ein Andrücken der Schulterblattspitze an den Thorax bewerkstelligen kann. — Alle Abtheilungen des *m. serratus magnus* üben also einen Zug nach vornen aus, welcher der Oberfläche des Thorax folgend zu einem Zuge nach aussen und vornen wird, wobei, wegen überwiegender Stärke und Länge der unteren Abtheilung des *m. serratus* und wegen grösserer Beweglichkeit der Schulterblattspitze diese stärker betheiligt ist.

Vergleich der Wirkung der beiden Gruppen zeigt, dass im Allgemeinen die erste Gruppe auf das Schulterblatt eine adducirende Wirkung gegenüber der Wirbelsäule und eine abducirende (abhebende) gegenüber dem Thorax ausübt, — umgekehrt wirkt die zweite Gruppe adducirend gegenüber dem Thorax und abducirend gegenüber der Wirbelsäule.

Zu diesen typischen Muskeln des Schultergürtels, welche das Schulterblatt angreifen, kommt noch ein grosser Muskel, welcher den ganzen Schultergürtel angreift und in ähnlicher Weise, wie der *m. serratus magnus* in mehrere Theile zerlegt werden muss, nämlich der *m. cucullaris*. Von diesem ist abzutrennen: 1) die *portio clavicularis*, welche als eine in der Mittellinie bedeutend verbreiterte Schlinge über den ganzen Nacken gelegt und mit den obersten Fasern an das Hinterhaupt befestigt ist, 2) die *portio spinosa*, welche an dem *labium superius* der *spina scapulae* beider Seiten angeheftet als eine Schlinge von verschiedener Breite über den untersten Halswirbel und den obersten Brustwirbel hin gelegt ist, und 3) die *portio inferior*, welche koncentrirt an dem Basis-Ende der *spina scapulae* angeheftet in starker Divergenz bis über die Mitte der Brustwirbelsäule hinabgeht und an die *processus spinosi* der Brustwirbel angeheftet ist. Alle drei Portionen haben eine stark gegen die Wirbelsäule hin adducirende Wirkung; die beiden oberen dabei noch eine hebende und die untere eine herabziehende. Die letztere Wirkung, da sie einen höher gelegenen Punkt der *basis scapulae* angreift, muss zugleich die Spitze der Scapula nach aussen drängen und wirkt insofern synergetisch mit dem *m. serratus*, mit welchem sie im Uebrigen antagonistisch ist.

Der *m. cleidomastoideus* stimmt mit der *portio clavicularis* des *m. cucullaris* in Wirkung und Anordnung so überein, dass man sich fast berechtigt halten könnte, ihn als einen Theil dieser letzteren anzusehen;

— wozu man noch mehr veranlasst sein könnte, wenn man das in Varietäten beider Muskeln zu findende häufige Vorkommen eines engeren Zusammenhanges beider dafür berücksichtigen wollte.

Der *m. subclavius* ist als Beweger des Schultergürtels weniger von Bedeutung. Seine wichtigste Funktion soll in Späterem angeführt werden.

Für die primären Bewegungen des Schultergürtels dienen also vorzugsweise die Muskeln, welche von dem Rumpfe an das Schulterblatt gehen; diejenigen, welche das Schlüsselbein angreifen, spielen dabei nur eine untergeordnete Rolle, indem sie nur Bewegungen unterstützen, welche durch andere Mittel bereits erreicht sind, oder gleichzeitig erreicht werden. Der in Früherem dem Schlüsselbeine gegebene Charakter eines Meniskus ist damit bestätigt, und es wird dieser Charakter durch die an demselben sich findenden Muskelanheftungen eben so wenig gestört, als der Charakter des Meniskus in dem Unterkiefergelenke dadurch gestört wird, dass ein Theil des *m. pterygoideus minor* (*externus*) sich an ihn ansetzt. Man kann also, ohne einen grossen Fehler zu machen, sich dahin aussprechen, dass dem Schlüsselbeine selbstständige Bewegungen überhaupt nicht zukommen und dass es nur den Bewegungen des Schulterblattes folgt. Es ist daher noch zu untersuchen, in welchen gegenseitigen Beziehungen die Bewegungen beider Knochen zu einander stehen.

Die Bewegungen des Schulterblattes lassen sich als sehr freie und allseitige nach den drei Hauptrichtungen scheiden, wenn gleich eine reine Bewegung nur in einer dieser Richtungen kaum vorkommen dürfte. Es sind also Schulterblattbewegungen zu unterscheiden

1) nach oben und nach unten,
2) nach vornen und nach hinten,
3) nach aussen und nach innen.

Durch diese Bewegungen wird die Lage des Schulterblattes im Raume oder auch einem beliebigen Punkte im Rumpfe gegenüber verändert.

Neben diesen Bewegungen sind noch allseitige Bewegungen des Schulterblattes gegenüber dem Schlüsselbeine zu unterscheiden, welche in einer jeden durch die oben bezeichneten Bewegungen bedingten Lage um den festen Punkt des Akromio-Clavikular-Gelenkes ausgeführt werden können. In dem Früheren sind diese schon als Drehungen um drei Axen angeführt und es ist hier nur die Folge dieser Drehungen für die Stellung des Schulterblattes auszuführen:

1) die Drehung um eine horizontale von vornen nach hinten gehende Axe hebt die Basis, wobei der untere Winkel der Wirbelsäule

genähert wird, oder senkt sie mit Abduktion der unteren Spitze von der Wirbelsäule;

2) die Drehung um eine vertikale Axe führt die Basis nach vornen oder nach hinten, drückt sie also an den Rumpf an oder hebt sie von dem Rumpfe ab;

3) die Drehung um eine horizontale, querliegende Axe hebt die untere Spitze nach hinten von dem Rumpfe ab oder drückt sie an den Rumpf an.

Der *processus coracoides* folgt bei 1 den Bewegungen der Basis, da er auf derselben Seite der Drehaxe liegt; bei 2 und 3 macht er indessen eine Bewegung, welche derjenigen der Basis (in 2) oder der unteren Spitze (in 3) gerade entgegengesetzt ist, denn er liegt für diese beiden Drehungen gerade auf der entgegengesetzten Seite der Axe, wenn also z. B. die Spitze der Scapula (wie in 3) nach hinten abgehoben wird, so senkt sich der *processus coracoides*.

Bei den Bewegungen des Schulterblattes sind daher wohl aus einander zu halten solche, welche die Lage des Schulterblattes verändern, und solche, welche die Stellung desselben verändern. So scharf sich diese beiden Begriffe in dem theoretischen Schema auseinander halten lassen und so scharf sie auch für die Beurtheilung der Bewegungen des Schulterblattes auseinander gehalten werden müssen, so wenig ist es doch möglich, dieses genau durchzuführen und zwar aus folgenden Gründen:

1) die einzelnen an dem Schulterblatte sich ansetzenden Muskeln enthalten sämmtlich in ihrer Zugrichtung mehrere Komponenten im Sinne der oben aufgestellten typischen Lagenveränderungen des Schulterblattes, so wirkt z. B. die untere Abtheilung des *m. serratus magnus* zugleich nach unten, nach vornen und nach aussen. Reine oder annähernd reine typische Lagenveränderungen können deshalb nur als Resultirende mehrerer Muskelwirkungen zu Stande kommen;

2) bei allen oder wenigstens den meisten Lagenveränderungen des Schulterblattes mischt sich als mitwirkender Faktor der Widerstand des Thorax ein, auf dessen äusserer Fläche das Schulterblatt geschleift wird; die Gestalt der Oberfläche des Thorax wirkt dadurch auch nothwendig auf die Richtung der Bewegung ein;

3) ein weiterer Faktor mischt sich noch ein in Gestalt des fixirenden Widerstandes, welchen das Akromion an dem Schlüsselbeine findet. Dieser Widerstand wird zwar überwunden, aber gerade dadurch wird wieder ein neuer Faktor als bestimmend für die Richtung der Bewegung eingeführt; dieser ist:

4) die Bewegung des Schlüsselbeines; der Widerstand wird nämlich dadurch überwunden, dass das Akromialende des Schlüssel-

beines von der Bewegung des Schulterblattes mitgenommen wird; da aber das Akromialende des Schlüsselbeines seine eigenen, durch das Sterno-Clavicular-Gelenk vorgeschriebenen Bahnen hat, welche es nicht verlassen kann, so leistet das Schlüsselbein auch, während es der Bewegung des Schulterblattes folgt, doch beständig einen ziehenden oder drückenden Widerstand an dem *acromion scapulae,* welcher als Komponente in die Bestimmung der Richtung des Schulterblattes mit aufgenommen wird,

5) indem das Schlüsselbein sein eigenes Bewegungscentrum in dem Sterno-Clavikular-Gelenke hat, muss es, wenn sein Akromialende den Bewegungen des Schulterblattes folgt, in veränderte Stellungen dem Schulterblatte gegenüber gebracht werden und dadurch werden sich als theilnehmend an den Lagenveränderungen solche Bewegungen im Akromialgelenke zeigen, welche oben als Stellungverändernd bezeichnet wurden; nur ist hierbei die Clavikula der Theil, welcher diese Bewegungen erfährt, wie z. B. eine möglichst gerade Hebung des Schulterblattes nur zu Stande kömmt, indem das Akromialende der Clavikula während seiner begleitenden Hebung eine Drehung um die quere Horizontalaxe des Akromialgelenkes ausführt;

6) ist das Schlüsselbein der Bewegung so weit gefolgt, bis es eine Hemmung erfährt, dann ist darum noch nicht die Beweglichkeit des Akromialgelenkes erschöpft und die fortgesetzte Wirkung des Muskels, welcher eine Lage-verändernde Bewegung des Schulterblattes als Anfang seiner Wirkung gehabt hat, wird dann als Stellung-verändernd sich geltend machen; — so ist ja der *m. rhomboides* so geeignet, wie möglich, die *basis scapulae* in beständigem Parallelismus mit der Wirbelsäule als reine Lage-Veränderung gegen oben zu adduciren und doch ist das Ende seiner Wirkung ein stärkeres Heben der Spitze des Schulterblattes, somit eine Stellungsveränderung, bedingt durch eine Drehung um die von vornen nach hinten gehende Horizontalaxe des Akromialgelenkes;

7) aus dem unter 5 und 6 Gesagten ist leicht zu erkennen, dass die einzelnen Muskelwirkungen nicht nur in zusammengesetzter Weise Lage-verändernd sind, sondern auch zugleich in zweifacher Art Stellung-verändernd.

Wenn es nun aber auch aus den eben angegebenen Gründen nicht möglich ist, die oben als typisch bezeichneten beiderlei Bewegungen des Schulterblattes scharf auseinander zu halten, und wenn es auch nicht möglich ist, die Wirkungen der Muskeln in einfacher Weise nach den typischen Bewegungen zu bezeichnen, so ist doch an der oben gegebenen Distink-

tion fest zu halten, wenn man eine einzelne gegebene Bewegung des Schulterblattes so genau als möglich analysiren will. Jede andere Art, die Bewegungen des Schulterblattes zu formuliren, muss an Unklarheit und Ungenauigkeit leiden.

b. Primäre Bewegungen des Humerus, an welchen der Schultergürtel Theil nimmt.

Die beiden grossen Muskeln, welche von dem Rumpfe zum Humerus hingehen, der *m. pectoralis major* und der *m. latissimus dorsi* sind zwar zunächst nur Beweger für den Humerus, indessen müssen sie nothwendiger Weise ihren Einfluss auf den Schultergürtel geltend machen können, da sie beide (im physiologischen Sinne) das Sterno-Clavicular-Gelenk und das Akromial-Gelenk überschreiten.

Indessen ist doch erst die Anordnung dieser beiden Muskeln noch genauer zu untersuchen, indem sich dabei eine interessante, für Beurtheilung ihrer Wirkung wichtige Parallele herausstellen wird.

Der *m. latissimus dorsi* entspringt von den *processus spinosi* der unteren Hälfte der Wirbelsäule und von dem Becken; einige accessorische Bündel kommen auch noch von den untersten Rippen; — als zweiter Kopf zu ihm kann ohne Zwang der *m. teres major* angesehen werden, welcher von der Spitze des Schulterblattes herkommt; — die unkonstante, von der gleichen Stelle des Schulterblattes herkommende Ursprungsportion des *m. latissimus dorsi* erscheint, wenn sie vorhanden ist, nur als ein aberrirendes Bündel des *m. teres major*, wie ja auch z. B. der nicht seltene dritte Kopf des *m. biceps brachii* nur ein solches aberrirendes Bündel des *m. brachialis internus* ist. Beide Muskeln, *m. latissimus* und *m. teres major*, setzen sich an der gleichen Stelle des Humerus an und zwar der *m. teres* weiter nach aussen (oder hinten) als der *m. latissimus*.

Der *m. pectoralis major* entspringt von der vorderen Mittellinie des Knochengerüstes an dem Sternum und den vorderen Enden der meisten echten Rippen (II bis VI—VII); — und da er mit seiner *portio abdominalis* in die vordere Platte der *vagina m. recti* übergeht, kann er auch noch als bis zur *linea alba* und dem Becken fortgesetzt angesehen werden; — seine Clavicularportion entspringt von dem Sternalende der Clavicula und setzt sich an dem Humerus weiter nach aussen (oder vornen) an, als der Hauptheil des Muskels.

Rechnet man zu diesen Punkten noch den Umstand hinzu, dass die Ansätze des *m. latissimus dorsi* (mit dem *m. teres major*) und des *m. pectoralis major* an dem Humerus sehr nahe bei einander liegen, so ist die Parallele beider Muskeln leicht zu erkennen.

Jeder der beiden Muskeln besitzt eine Schultergürtelportion, welche den von dem Akromialgelenke entferntesten Punkt ihres Ursprungsknochens angreift, und beide Schultergürtelportionen zusammen bilden eine vom Sternalende der Clavicula zu der Spitze der Scapula gehende, mit ihrem Gipfel an dem Humerus angeheftete Muskelschlinge.

Die Haupttheile der beiden Muskeln bilden eine ähnliche näher dem Rumpfe gelegene Schlinge, welche von der vorderen Mittellinie des Rumpfes zu der hinteren Mittellinie desselben geht, und mit ihrem Gipfel an dieselbe Stelle des Humerus angeheftet ist, wie die vorher angeführte Schlinge. — Zugleich sei auch hier schon darauf aufmerksam gemacht, obgleich diese Thatsache erst später von Interesse wird, dass beide *m. latissimi dorsi*, wenn man für Auffassung ihrer Anordnung von dem Humerus ausgeht, als eine sehr breite Schlinge erscheinen, welche die untere Hälfte der Hinterseite des Rumpfes umgreift und mit den untersten Fasern an das Becken angeheftet ist. Dieses Verhältniss ist sehr ähnlich demjenigen der *portio clavicularis* des *m. cucullaris*. — Auch die beiden *m. pectorales* (ohne die *portio clavicularis*) können als eine solche Schlinge für die vordere Seite des Rumpfes angesehen werden, welche mit ihrer stärkeren Abtheilung über den Thorax hingelegt ist und mit der *portio abdominalis* eine schwächere Fortsetzung über den ganzen Bauch hinab mit Anheftung an das Becken besitzt.

Von diesen Muskeln kann nur der *m. latissimus dorsi* (ohne den *m. teres major*) und der *m. pectoralis major* im engeren Sinne (ohne seine *portio clavicularis*) in Rede kommen, wenn es sich um Bewegungen handelt, welche dem Schultergürtel von dem bewegten Oberarme mitgetheilt werden. Beide müssen natürlich zuerst den leichter beweglichen Humerus in dem Schultergelenke jeder in seinem Sinne rotatorisch und adduktorisch bewegen. Beide haben in ihrer Wirkungsrichtung aber auch eine hinabziehende Komponente, welche indessen bei dem *m. latissimus dorsi* entschieden grösser ist, als bei dem *m. pectoralis major*. Der Wirkung dieser Komponente kann der Humerus für sich nicht folgen, wenn er nicht nach aussen abducirt ist; die Einwirkung, welche er dadurch erfährt, muss er demnach zunächst auf das Schulterblatt und durch dieses auf das Schlüsselbein, somit also auf den ganzen Schultergürtel übertragen. Zugleich muss sich aber auch die adduktorische Wirkung, wenn ihr der Humerus im Schultergelenke nicht mehr folgen kann, dem Schultergürtel mittheilen, und der Schultergürtel muss dadurch in stärkster Wirkung des *m. pectoralis major* nach vornen und in stärkster Wirkung des *m. latissimus dorsi* nach hinten hinabgezogen werden. Beide Wirkungen geben durch die damit verbundene Verschiebung des Schultergelenkes der Bewegung des Humerus eine grössere Ausdehnung, als es ohne dieselben möglich gewesen wäre.

a. Der belastete Arm.

Aehnliche Verhältnisse bieten sich, wenn ein Hinabziehen des Humerus durch eine stärkere Belastung geschieht, die z. B. durch ein bei hängendem Arme in der Hand gehaltenes schweres Gewicht ausgeübt wird. Dieser Fall hat nur vor dem vorher besprochenen das Eigenthümliche voraus, dass die Einwirkung auf den Schultergürtel eine so starke wird, dass reaktive Muskelthätigkeiten nothwendig werden, um ein zu starkes Sinken des Schultergürtels zu hindern und um durch Zug an dem Schultergürtel die Last tragen zu helfen.

Wirkt ein solches Gewicht auf den Arm ein, so wird dieser durch die Schwere desselben in viel stärkerem Grade nach unten gezogen, als dieses durch die Schwere des Armes allein geschieht; die Gefahr für ein Hinabrutschen des Humeruskopfes an der *cavitas glenoides* des Schulterblattes wird dadurch bedeutend vergrössert und in Folge dessen tritt eine lebhafte Kontraktion aller derjenigen Muskeln ein, welche in gewöhnlichen Verhältnissen den unbelasteten Arm durch ihren »Tonus« zu tragen vermögen, insbesondere also des *m. supraspinatus*, des *m. infraspinatus* (mit *m. teres minor*), des *m. subscapularis*, des *m. deltoides* und des *m. coracobrachialis*. Nicht minder müssen auch der *m. biceps brachii* und der *m. triceps brachii* (*caput longum*) unterstützend wirken; indessen ist doch in Bezug auf diese Muskeln zu beachten, dass in dem Falle einer solchen Belastung sämmtliche Muskeln des ganzen Armes sich in lebhafter Kontraktion befinden und dadurch den sämmtlichen durch die Belastung gezerrten Gelenken festeren Halt geben, — die Kontraktion des *m. biceps* und des *m. triceps* werden daher ihre Hauptbedeutung in dem Ellenbogengelenke finden; darum aber wird ihre Einwirkung auf das Schultergelenk nicht eine geringere sein.

Der auf solche Weise mit dem Schultergürtel verbundene Arm muss nun den ganzen Schultergürtel herunter ziehen und zwar, wie in Früherem schon ausgesprochen wurde, nach vornen herunterziehen. Dass die Richtung des Fallens nach vornen in dem unbelasteten Arme durch Wirkung des Tonus gewisser Muskeln aufgehoben wird, wurde in dem Früheren ebenfalls ausgesprochen; ebenso ist es deutlich, dass dieselben Muskeln durch eine lebhafte Kontraktion einer stärkeren Schwerewirkung nach vornen müssen das Gleichgewicht halten können. Dieses Verhältniss kann deshalb für den Augenblick ausser Acht gelassen werden und die Untersuchung, in welcher Weise der belastete Schultergürtel getragen wird, kann sich für's Erste auf die senkrechte Wirkung der Schwere allein beschränken.

Die nächste Wirkung der Schwere muss sich an dem Stützpunkte des Schultergürtels geltend machen, d. h. an dem Sternalende des Schlüsselbeines. Da dieses auf der schiefen Ebene der ersten Rippe ruht, so wird der Einfluss der Schwere sich durch ein Hinabrutschen auf dieser schiefen Ebene geltend machen, indessen wird dafür gar bald das *ligamentum costo-claviculare* hemmend werden und es wird nun die Einwirkung der an dem Akromialende lastenden Schwere auf das Sternalende des Schlüsselbeines allein in Rechnung kommen. — Würde ein genügender Widerstand nicht vorhanden sein, so würde die an dem bezeichneten Punkte als an einem Hebelarm wirkende Schwere zuerst um den unteren Stützpunkt des Schlüsselbeines (*manubrium sterni* und erste Rippe) als um ein Hypomochlion eine Drehung ausführen und die obere Seite des Sterno-Clavikular-Gelenkes auseinander reissen; nach Aufhebung dieses Widerstandes würde dann durch direkteren Zug auf den Stützpunkt das Schlüsselbein aus seiner Verbindung mit dem Sternum und der ersten Rippe herausgerissen. Es wird also nun die Frage entstehen, wie diese Folgen verhütet werden.

Das Wichtigste ist jedenfalls die Verhütung des Einreissens der oberen Seite des Sterno-Clavikular-Gelenkes, denn so lange an dieser Seite die nöthigen Widerstände in Kraft sind, müssen diese im Vereine mit der Schwerewirkung eine Resultirende geben, welche das Sternalende des Schlüsselbeines auf seine Stützpunkte aufdrücken; und so lange dieses geschieht, ist ein direkt abreissender Zug an diesem letzteren nicht möglich. — Gerade auf diesen oberen Punkt der Sternalgelenkfläche des Schlüsselbeines finden wir aber sehr starke Bandwiderstände koncentrirt. Für's Erste ist es das ausserordentlich starke *lig. sterno-claviculare*, und für's Zweite eine in demselben Sinne wirkende Verbindung zweier Bänder, nämlich des *ligamentum interclaviculare* und des Meniskus. Der letztere ist dadurch vor anderen Menisken ausgezeichnet, dass er beiden Flächen, zwischen welchen er liegt, gegenüber nicht gleichmässige Anheftungsverhältnisse zeigt; in seinem unteren Theile ist er nämlich fest mit dem Rande der *incisura clavicularis sterni* verbunden und in seinem oberen Theile mit dem oberen Rande der Gelenkfläche des Schlüsselbeines; daneben ist er auch noch sehr häufig mit der ganzen *incisura clavicularis sterni* durch kurzes Bindegewebe verbunden. Für sich allein wird bei dieser Anordnung der Meniskus allerdings eine Hemmung nicht zu Stande bringen, aber mit dem *lig. interclaviculare* zusammen muss er eine Resultirende erzeugen, welche in gleichem Sinne Widerstand leistet, wie das *lig. sterno-claviculare*. Ist die Belastung nur eines Armes gegeben, so wird durch das *lig. interclaviculare* der Zug auf das Schlüsselbein der anderen Seite hinüber fortgepflanzt; er muss auf dieses allerdings auch eine hebende Wirkung äussern, aber diese kann durch den *m. subclavius*

derselben Seite aufgehoben werden und es wird dann der fortgepflanzte Zug durch Hineindrücken des Schlüsselbeines der anderen Seite in seine *incisura clavicularis sterni* Widerstand finden.

Bei so kräftigem Widerstande gegen das Aufreissen der oberen Seite des Sterno-Clavicular-Gelenkes genügen geringere Widerstände gegen das Herausreissen der Clavicula aus ihrer ganzen Verbindung und wir finden daher das *lig. costo-claviculare* mit seiner langen Anheftungslinie an dem Schlüsselbeine und den *m. subclavius* mit seiner vorzugsweise nach dem Sterno-Clavikular-Gelenke gerichteten Wirkung als genügende Sicherung in dem angegebenen Sinne. In dem Späteren wird es sich indessen noch herausstellen, dass diesen Widerständen von anderer Seite her noch eine Unterstützung wird.

Wenn alle bezeichneten Widerstände mit der Schwerewirkung sich in Gleichgewicht gesetzt haben, so lastet die Schwere durch Vermittelung der Clavicula auf dem oberen Brustkorbrande und wird hier einerseits von der ersten Rippe andererseits von dem Sternum aufgenommen. Die erste Rippe muss sie unmittelbar der Wirbelsäule übertragen und zwar einer Gegend derselben, welche sehr geeignet ist, den nach vornen und unten gehenden Zug federnd aufzunehmen. Das Sternum muss durch seine Verbindung mit allen wahren Rippen die Last auf diese übertragen, so dass sie von deren Elasticität aufgenommen wird; die hauptsächlichste Belastung von hier aus wird aber doch wieder die erste Rippe übernehmen müssen. Man darf wohl auch noch daran denken, dass das *manubrium sterni* mit seinem oberen Ende mehr oder weniger nach hinten geneigt und in seiner Verbindung mit dem Körper beweglich ist. Der Druck auf den oberen Theil des Manubrium wird demnach auch eine Drehung desselben nach hinten zu erzeugen suchen und diese wird von der ersten Rippe aufgenommen werden, welche durch ihre flächenhafte Breite dazu besonders geeignet erscheint. Es ist übrigens unverkennbar, dass die belasteten Rippen durch die *m. scaleni*, die *m. levatores costarum* und die Fortsetzung beider als *m. intercostales externi* getragen werden können, und dadurch ein weiteres Hülfsmittel besitzen, ihre Belastung auf die Wirbelsäule zu übertragen.

Aus dem soeben Besprochenen ist zu erkennen, dass die Verbindungen des Sternalendes des Schlüsselbeines mit der ersten Rippe und dem Sternum in vieler Beziehung schon genügen, eine an dem Arme hängende Last zu tragen und die Belastung auf die Wirbelsäule zu übertragen. Indessen wurde auch oben bereits darauf aufmerksam gemacht, dass eine gewisse Muskelwirkung dabei als theilnehmend vorausgesetzt werden muss. Es ist deswegen jetzt noch zu untersuchen, welche Muskeln sich an dem Tragen des Schultergürtels betheiligen. In dieser Beziehung sind nun aber zweierlei Muskelwirkungen zu unterscheiden, nämlich eine

gegen die Wirbelsäule adducirende und eine hebende. Erstere hat zunächst der nach vornen wirkenden Komponente der Schwere entgegenzuwirken; letztere muss tragen helfen. Beiden Funktionen gleichzeitig entsprechen der *m. rhomboides* und der *m. levator anguli scapulae*. Ihre hebende Funktion wird noch dadurch verstärkt, dass sich beide als hebende Schlingen mit den beiden oberen Portionen des *m. serratus magnus* vereinigen, so dass eine hebende Muskelschlinge durch den *angulus scapulae* geht und eine andere durch die *basis scapulae* (im engeren Sinne). Indem die Ursprünge dieser Muskeln oder Muskelportionen an der Wirbelsäule und an dem Thorax sich befinden, wird die Belastung auf diese Theile des Knochengerüstes übertragen. Durch die mit ihnen thätigen Theile des *m. serratus magnus* wird zwar ein Theil der adducirenden Wirkung des *m. rhomboides* und des *m. levator anguli scapulae* aufgehoben, indessen wird eine reichliche Ergänzung derselben durch den unteren Theil des *m. cucullaris* gegeben, dessen abwärts ziehende Komponente gegen die aufwärts gerichteten Muskelwirkungen der bereits aufgezählten mehr aber noch der folgenden Muskeln verschwindet.

Die wichtigste Bedeutung für das Tragen des Schultergürtels kommt unstreitig den oberen Theilen des *m. cucullaris* und dem *m. cleidomastoideus* zu, welchem letzteren noch der *m. sternomastoideus* beträchtliche Unterstützung gewährt. — Die *portio clavicularis* des *m. cucullaris* zieht mit ihrer Occipitalanheftung den Kopf unter starker Vorwärtskrümmung der Halswirbelsäule nach vornen hinab, und der *m. cleidomastoideus*, sowie mehr noch der *m. sternomastoideus* haben die gleiche Wirkung. Ist dem Kopfe und der Halswirbelsäule diese Stellung gegeben, dann müssen die genannten Muskeln den Schultergürtel, wenn auch zunächst das Schlüsselbein, an dem Kopfe aufgehängt tragen; und die Belastung wird somit auf den Kopf übertragen, welchem sie dann von der in ihrer Biegung stark federnden Halswirbelsäule abgenommen wird. Die stärkste Uebertragung findet dabei von dem Sternalende der Clavicula und von dem Manubrium des Brustbeines aus auf den *processus mastoideus* statt. Die Einwirkung des betreffenden Theiles der *portio clavicularis* des *m. cucullaris* reiht sich mehr an die Wirkung der Hauptmasse dieser Portion an, welche, als ein breites Jochband über die hohle hintere Seite der Halswirbelsäule gelegen, die Belastung direkt auf diese überträgt. In dem gleichen Sinne wirkt die Spina-Portion des *m. cucullaris*, welche über die Grenze zwischen Hals- und Brustwirbelsäule als ein ähnliches Jochband gelegen die Scapula trägt und dabei stärker auf das Akromion derselben einwirkt, indem dieses stärker nach innen hinauf gezogen wird.

Wenn nun durch Hebung und Adduktion das Schulterblatt ebenso wie das Schlüsselbein festgestellt ist, so hängt der belastete Arm gerade

unter der Verbindungsstelle dieser beiden Knochen herab und übt dadurch auf diese einen Zug aus, welcher diese Verbindungsstelle unter Einknickung derselben herabziehen würde, wenn dieselbe nicht gestützt wäre. Der kräftige Zug des *m. cucullaris* an dem Akromion beider Knochen, wird allerdings schon als ein wichtiges Hülfsmittel für Vermeidung einer solchen Gefahr angesehen werden müssen; aber genauere Prüfung der Muskelverhältnisse der Schulter lässt noch eine Einrichtung finden, welche jedenfalls einen sehr wichtigen Beitrag zur Stützung der Akromialverbindung gibt. Der *m. teres major* und die mit ihm zur Schlinge verbundene *portio clavicularis* des *m. pectoralis major* zeigen nämlich die Anordnung, dass sie von dem am Weitesten vom Akromion abgelegenen Theile des Schlüsselbeines beziehungsweise des Schulterblattes entspringen und dadurch unter Anheftung an den Humerus beide Knochenpunkte so unter einander verbinden, dass dieselben durch das Zusammenwirken beider Muskeln einander genähert werden müssen. Werden sie aber genähert, so wird die Verbindungsstelle am Akromion hinaufgetrieben und dadurch geeigneter, die Schwere zu tragen. In ähnlicher Weise müssen auch zusammenwirkend die schiefen vorderen und hinteren Fasern des *m. deltoides* zur Stützung der Akromialverbindung beitragen.

β. Der emporgestossene Arm.

Den Verhältnissen, welche sich bei dem belasteten Arme zeigen, gerade entgegengesetzt sind diejenigen, welche sich zeigen, wenn der Arm hinaufgestossen wird. Es kann dieses durch Einwirkung einer äusseren Gewalt direkt geschehen, oder es kann indirekt dadurch geschehen, dass der aufgestützte Arm (oder beide Arme) den hängenden Rumpf zu tragen hat, wobei es gleichgültig ist, ob die Hand oder der Ellenbogen zum Aufstützen gewählt ist; indem es sich ja nur darum handelt, dass der Humerus so weit hinaufgestossen wird, bis sich Widerstände zeigen.

Wird der Humerus durch irgend eine Gewalt (direkte oder Gegendruck der Unterlage beim Aufstützen) hinauf gestossen, so wird als erste Wirkung der Gelenkkopf sich an der *cavitas glenoides* in senkrechter Richtung aufwärts verschieben, bis er einen Widerstand findet, welcher ihm sehr bald durch das gerade über ihm liegende Dach des Schultergelenkes geboten wird. Indem dieses Dach von zwei vorspringenden Theilen des Schulterblattes, dem *acromion* und dem *processus coracoides*, so wie von dem beide verbindenden starken Bande, dem *ligamentum coraco-acromiale* gebildet wird, wird der Druck sogleich dem Schulterblatte, und nur diesem allein mitgetheilt. Das Schulterblatt theilt ihn darauf dem Schlüsselbeine mit, sobald die Aufwärtsführung des Schulter-

blattes so weit gediehen ist, dass das *ligamentum acromio-claviculare* angespannt und der *processus coracoides* an das Schlüsselbein angedrückt ist; der ganze Akromialtheil des Schultergürtels wird nunmehr hinaufgedrückt, und zwar so weit, bis Widerstände sich geltend machen, welche dann den ganzen Druck aufzunehmen haben. Welches diese Widerstände sind, ist jetzt zu untersuchen.

Würde der Einfluss des Druckes von unbedeutenden und ungenügenden Widerständen aufgenommen, so würde seine Folge sein

1) ein Erheben des Akromialendes des Schlüsselbeines in einer Kreisbewegung um das fixirte Sternalende desselben,
2) ein Herausreissen des Schlüsselbeines aus seiner Sternal-Artikulation.

Beide Wirkungen sind Folgen der einzelnen Komponenten, in welche der Druck von unten sich zerlegen lässt. Derselben muss nämlich, in schiefer Richtung zu dem Schlüsselbeine stehend, sich zerlegen in eine senkrecht zu diesem stehende rotirende Komponente und eine in der Richtung des Schlüsselbeines selbst wirkende abziehende Komponente. Mit zunehmender Hebung des Schlüsselbeines muss aus leicht zu erkennenden Gründen, die rotirende Komponente an Bedeutung abnehmen, die abreissende dagegen an Kraft zunehmen. Hierbei ist vorausgesetzt, dass der Druck gerade von unten kommt. Kommt er nicht gerade von unten, so muss sich natürlich auch noch eine nach vornen oder nach hinten gerichtete Komponente geltend machen, welche in der ihr entsprechenden Richtung das Sternalgelenk des Schlüsselbeines aus einander zu brechen sucht; aber auch der gerade von unten kommende Druck muss, wenn in ihm selbst auch eine solche Komponente nicht liegt, doch ein Vorwärtsdrängen des Schlüsselbeines zur Folge haben, weil, wie früher schon besprochen, die Hebung des Schlüsselbeines als Drehung um eine in dessen Sternalende liegende schiefe Axe zu Stande kommt, wodurch sich mit der Hebung nach aufwärts eine Bewegung nach vornen verbindet. — Ist der Arm so gestützt, dass er den Körper zu tragen hat, so gibt das Sinken des Schwerpunktes unter den Aufhängepunkt des Sterno-Clavicular-Gelenkes eine in der Richtung nach vornen auf die Clavicula wirkende kräftige Komponente.

Eine unter gewissen Verhältnissen etwa auftretende nach hinten stossende Einwirkung auf das Schlüsselbein müsste bald in dem Anschlusse des Schultergürtels an den Rumpf einen Widerstand finden; — eine nach vornen stossende muss indessen durch kräftigere in adduktorischem Sinne auf das Schulterblatt wirkende Muskelthätigkeiten aufgehoben werden.

Nimmt man vorläufig auf diese nach vornen und nach hinten gerichteten Nebenwirkungen, von welchen nach dem eben Gesagten vorzugs-

weise die nach vornen gerichtete in Rechnung kommen muss, keine Rücksicht, so kann man die Wirkung des emporstossenden Druckes leichter zerlegen.

Dem ihm von dem Schulterblatte mitgetheilten Drucke nach oben folgt das Akromialende des Schlüsselbeines leicht bis die Spannung des *ligamentum costo-claviculare* dieser Bewegung einen Halt gebietet. Die nach aufwärts gerichtete Bewegung des Schlüsselbeines wird nunmehr durch Vermittelung dieses Bandes der ersten Rippe und auch dem Sternum übertragen, dem letzteren theilweise durch die erste Rippe und theilweise durch die dieser zunächst gelegene Abtheilung des *ligamentum sterno-claviculare*, von welcher das *ligamentum costo-claviculare* eigentlich nur eine Erweiterung ist. Die Belastung wird dadurch auf die Einfügung der ersten Rippe an die Wirbelsäule übertragen. Hierbei ist nicht zu übersehen, dass die absteigende Richtung der ersten Rippe diesen Zug an ihrem vorderen Ende nicht nur als eine Gewalt aufnimmt, welche dieses letztere um den Mittelpunkt des ersten Costo-vertebral-Gelenkes zu heben sucht, sondern auch als eine solche, welche die Rippe fester an ihre Wirbelverbindung andrückt; je stärker die Rippe hinabsteigt, um so stärker ist die letztere Komponente. Ferner ist auch zu berücksichtigen, dass durch diese Komponente bei dem Aufstützen beider Arme die Wirbelsäule von dem durch beide ersten Rippen gebildeten Ringe, wie von einem Tonnengewölbe getragen wird. — Der Aufwärtszug des Brustbeines wird nothwendiger Weise nicht nur an die schon direkt belasteten ersten Rippen, sondern auch an die anderen wahren Rippen übertragen und von diesen durch ihre Elasticität und unter Fortpflanzung auf die Wirbelsäule aufgenommen. — Sehr bedeutend können in ihrem Widerstande sämmtliche Rippen und das Brustbein durch die Wirkung des schräg-aufsteigenden Muskelzuges (*m. obliquus abdominis internus* und *m. intercostales interni*) unterstützt werden.

Was nun ferner den Widerstand gegen das Herausreissen aus dem Sterno-Clavicular-Gelenk angeht, so wird dieser theilweise durch die sehr starken Sterno-Clavicular-Bänder und das an diese sich anreihende *ligamentum costo-claviculare* geleistet, theilweise erscheint er auch als die Hauptfunktion des *m. subclavius*. Dieser Muskel ist ja durch seine der unteren Fläche des Schlüsselbeines eng anliegende Richtung so angeordnet, dass er allerdings, wie es gewöhnlich aufgefasst wird, das Schlüsselbein muss herabziehen können, dass er aber ungleich mehr das Schlüsselbein in seine Gelenkfläche an dem Sternum hineindrücken muss. — Er wird daher bei dem Aufstützen der Arme und dem Tragen des ganzen Körpers durch die aufgestützten Arme ein sehr wichtiges Fixirungsmittel des Schlüsselbeines sein.

Es bleibt jetzt noch zu untersuchen, in welcher Weise das Schulter-

blatt durch Muskelkräfte so angegriffen wird, dass es auch für sich der Wirkung des in dem Arme wirkenden emporstossenden Druckes nebst dessen gegen vornen gerichteter Nebenwirkung widerstehen kann, beziehungsweise sogar im Stande ist, den an den Schultergürteln aufgehängten Körper tragen zu helfen.

In Früherem wurde bereits darauf aufmerksam gemacht, dass eine starke Adduktion des Schulterblattes an die Wirbelsäule nothwendig ist, um der Vorwärtsbewegung des ganzen Schultergürtels entgegenzuwirken. Welche Muskeln diese Wirkung haben, ist schon genügend besprochen, indessen werden doch einzelne derselben vorzugsweise in Anspruch genommen werden, diejenigen nämlich, welche der zweiten Bedingung, welche zu erfüllen ist, entsprechen. Diese zweite Bedingung ist aber, dass das emporgestossene Schulterblatt herabgezogen werde. Drei Muskeln sind es, welchen diese Bedeutung in ausgezeichnetem Masse zuzuerkennen ist; — es sind der untere Theil des *m. cucullaris*, der untere Theil des *m. serratus magnus* und der *m. pectoralis minor*. Ueberblickt man diese drei Muskeln, so nöthigt sich bald die Bemerkung auf, dass sie eine rund um den Rumpf gelegene Gruppe darstellen, welche, wenn man das Schulterblatt als Ausgangspunkt ihrer Wirkung ansieht, den Rumpf hinten, an der Seite und vornen angreifen. Das Schulterblatt wird daher von allen Seiten her an den Rumpf angezogen und es entsteht dann durch die Aktion dieser Muskeln eine Herabziehung des Schulterblattes gegen den Rumpf, welche im Stande ist, dem Emporstossen einen Widerstand zu leisten oder den aufgehängten Rumpf an dem festen Punkte des Schulterblattes zu tragen. — Der untere Theil des *m. cucullaris* und der untere Theil des *m. serratus magnus* haben zwar die Nebenwirkung, die Spitze des Schulterblattes nach aussen zu rotiren; — der *m. rhomboides* und der *m. levator anguli scapulae* können aber diese Nebenwirkung, welcher auch der *m. pectoralis minor* entgegentritt, aufheben und mit dem anderen Theile ihrer Wirkung an der Adduktion des Schulterblattes Theil nehmen, — und so werden diese Muskeln ebenfalls als betheiligt an der Fixirung des Schulterblattes in dem gegebenen Falle anzusehen sein.

Es wurde bis jetzt nur das Verhalten des Schultergürtels unter den vorausgesetzten Verhältnissen untersucht, weil die gestellte Aufgabe zunächst nur hierauf ging. Es bleibt indessen doch noch zu berücksichtigen, dass in dem Falle des Hinaufstossens des Armes oder des Stützens des Körpers auf die aufgestemmten Arme dem Schultergürtel ein bedeutender Theil der Last abgenommen wird oder wenigstens abgenommen werden kann, so dass die ihm gestellte Aufgabe damit erheblich vermindert wird. Der Humerus selbst kann nämlich durch seine starken Muskeln, *m. pectoralis major* und *m. latissimus dorsi*, so gegen den Rumpf

herab oder der Rumpf zu ihm hinaufgezogen werden, dass dadurch ein Theil der Einwirkung schon aufgenommen und ebenso viel von derselben dem Schultergürtel abgenommen wird.

c. Bewegungen des Humerus, welche diesen zum punctum fixum machen.

In dem vorher besprochenen Falle des Emporstossens des Humerus waren zwei verschiedene Grundformen als möglich aufzustellen, es konnte nämlich sein:

1) eine Bewegung des Humerus gegen den Schultergürtel und Mittheilung der Bewegung an diesen bis zum Widerstande an dem Rumpfe oder
2) eine Fixirung des Armes durch Aufstemmen, und Herabsinken des Rumpfes und des Schultergürtels bis zur Wirkung der Widerstände, welche dann den Rumpf an dem Schultergürtel und mit diesem an dem fixirten Humerus tragen.

Die Widerstände sind in beiden Fällen vollständig dieselben, und in sofern ist es auch gleichgültig, welche dieser beiden Grundformen der Analyse der dabei stattfindenden Vorgänge zu Grunde gelegt wird.

Die Analyse der zweiten Grundform gewährt aber, und deswegen wurde sie auch in dem Obigen gewählt, gewisse Vortheile, indem sie unmittelbar anwendbar ist auf die Bewegungen, welche dem Rumpfe gegenüber dem *punctum fixum* des Armes (mit Einschluss des Schultergürtels) mitgetheilt werden können. Diejenigen Muskelaktionen, welche als nothwendig zum Tragen des Rumpfes bezeichnet werden mussten, haben ja nur nöthig stärker zu wirken, um den Rumpf zu dem Schultergürtel hinaufzuziehen und den letzteren horizontal zu legen. Die Muskeln zwischen dem Rumpfe und dem Schulterblatte werden zu dieser Thätigkeit das ihrige beitragen, aber diese können doch nur den Rumpf dem Schultergürtel gegenüber heben. — Die stärkere Hebung des Rumpfes, welche so weit geht, dass sie auch den Schultergürtel mitnimmt und diesen bis zur horizontalen Lage oder noch weiter führt, kann nur durch die grossen Muskeln zu Stande gebracht werden, welche zwischen dem Humerus und dem Rumpfe angeordnet sind. — Damit deren Wirkung richtig aufgefasst werden könne, ist an das zu erinnern, was in Früherem über die Anordnung dieser Muskeln gesagt ist, dass sie nämlich als breite Schlingen um den Rumpf gelegt sind und bis zum Becken hinunter reichen. Der *m. latissimus dorsi* beider Seiten umgreift die untere Brustgegend und die Lendengegend an der hinteren Seite mit Anheftung an das Becken und auch an die unteren Rippen; — der *m. pectoralis major* umgreift an der vorderen Seite den Thorax und durch seine *portio abdo-*

minalis vermag er auch die vordere Platte der *vagina m. recti* anzuspannen; damit umfassen beide *m. pectorales* auch den Bauch als eine Schlinge und müssen deswegen auch auf die vordere Seite des Beckens eine, wenn auch schwächere, Einwirkung ausüben können.

Diese Anordnungen gewähren den grossen Vortheil, dass

1) die aufwärts gerichtete Komponente beider Muskeln eine grössere Kraft erhält und dass
2) durch den direkten Angriff des Beckens zerrende Spannungen innerhalb des Rumpfes vermieden werden.

Allerdings ist der Angriff an der vorderen Seite des Beckens ein schwächerer, soweit der *m. pectoralis major* dabei interessirt ist, aber darum ist durch andere Muskelanordnungen doch dafür gesorgt, dass das Becken kräftig nicht nur von vornen, sondern auch an der Seite angegriffen wird. Der *m. obliquus abdominis externus* bildet ja eine direkte Fortsetzung theils der Rippenportionen des *m. latissimus dorsi*, theils des unteren Theiles des *m. serratus magnus*. Der hebende Zug, welchen diese beiden Muskeln ausüben, ersterer von dem Humerus aus, letzterer von dem Schulterblatte aus, kann also durch den *m. obliquus abdominis externus* theils bis auf das Hüftbein, theils bis zum *tuberculum pubis* und der *linea intertubercularis*, sowie der *linea alba* fortgesetzt werden. — Zuziehung des *m. obliquus abdominis externus* ergänzt daher in einfachster und direktester Weise die hebenden Wirkungen des *m. latissimus dorsi* und des *m. pectoralis major*, sowie auch der unteren Abtheilung des *m. serratus magnus*.

Diese hebende Aktion gegen den fixirten Oberarm und das fixirte Schulterblatt bildet einen wichtigen Theil der durch Hülfe der oberen Extremität ausgeführten Lokomotion, welche als Klettern bezeichnet wird.

Diese Bewegung kann in zweierlei Weise ausgeführt werden, für welche als typisch anzusehen sind

der Aufzug an dem Reck,
das Erheben in das Stützen an dem Barren.

Die eigentliche Kletterbewegung ist eine gemischte und dadurch unreine Bewegung, weil dabei eine streckende Aktion der angestemmten Beine die Hebung des Rumpfes zu unterstützen pflegt.

Das Erheben in das Stützen an dem Barren ist im Wesentlichen die eben untersuchte Bewegung, jedoch ist noch eine Modifikation dadurch gegeben, dass dabei die Hände mit gebogenem Ellenbogengelenke aufgestützt werden und dass dann ein Theil der Erhebung (nach Umständen sogar der grösste Theil derselben) durch Streckung des Ellenbogengelenkes zu Stande gebracht wird. Die besprochenen Thätigkeiten zwischen Rumpf, Schultergürtel und Humerus werden dadurch in der Hauptsache

nicht beeinflusst. Nur der folgende Unterschied ist zu beachten: In dem oben Besprochenen war stets eine senkrechte Stellung des Humerus vorausgesetzt; — bei dem Aufstützen mit gebogenem Arme und Erhebung durch Strecken desselben muss die Schwerlinie in derselben Ebene mit der Verbindungslinie beider Hände liegen; der Oberarm muss demnach nach hinten gestellt sein, wobei er eine der Breite des Barren entsprechende Abduktionsstellung haben muss. Bei der Streckung müssen die Hände und die Schultergelenke, an welchen der Rumpf aufgehängt ist, in Bezug auf Hinten und Vornen immer in der gleichen Lage zu einander bleiben, wenn sie sich auch in vertikaler Richtung von einander entfernen. Der Ellenbogen wird daher während seiner Streckung nach vornen geführt und entsprechend adducirt, und es ist klar, dass dieses theilweise durch die Ellenbogenstrecker, theilweise durch die Handbeuger zu Stande gebracht wird, dass aber auch dem *m. pectoralis major* neben seinen anderen hierbei thätigen Funktionen ein wichtiger Antheil dabei zukömmt.

Bei dem Aufzug am Reck oder an der Kletterstange (ohne Theilnahme der Beine) finden verwandte Verhältnisse statt. Nur geschieht hier eine Erhebung durch B e u g u n g des Ellenbogengelenkes, nachdem der Arm mehr oder weniger gestreckt, in grösserer oder geringerer Abduktion an einem höheren Punkte durch Umfassen mit der Hand fixirt ist. Am Ende der Bewegung ist das Ellenbogengelenk stark gebeugt, das Schultergelenk nahe dem Handgelenk und der Humerus nahezu senkrecht gestellt. Es hat dazu also auch noch eine kräftige Mitwirkung in dem Sinne einer Führung nach hinten statt zu finden, welche Sache des *m. latissimus dorsi* und des *m. teres major* ist, — und in dem Falle einer abduktorischen Stellung des Humerus in dem gebeugten Arme müssen die beiden Muskeln *m. latissimus dorsi* und *pectoralis major* unter Beihülfe des *m. subscapularis* und des *m. infraspinatus* (mit *m. teres minor*) eine Adduktion des Humerus bewerkstelligen.

Da es unmöglich ist, alle Individualitäten in der Ausführung der beiden Arten der Kletterbewegung zu berücksichtigen, so mögen diese Andeutungen genügen, welche einen Hinweis darauf geben, dass in diesen Bewegungen zu unterscheiden ist:

1) Lokomotion durch Beugung oder Streckung des Ellenbogengelenkes,
2) Veränderung der Stellung des Humerus durch Bewegung desselben im Schultergelenke,
3) Anziehen des Rumpfes an den emporgestossenen oder gezogenen Schultergürtel.

In gleicher Weise sind auch in anderen Richtungen geschehende Bewegungen des Rumpfes gegen die fixirte Hand zu analysiren. — Weitere Analysen dieser Art hier auszuführen, würde indessen zu weitläufig

werden. — Es genüge daher nur, darauf aufmerksam zu machen, dass dieselbe Anwendung, welche von den Widerständen bei emporgestossener Schulter auf das Stemmen und Klettern gemacht wurde, auch bei derjenigen Haltung und Bewegung geschehen muss, welche freilich gewöhnlich nur als Turnübung gesehen wird, wobei die an dem Reck oder dem Barren fixirten Hände den Körper umgekehrt tragen oder emporheben, d. h. so dass der Kopf nach unten und die Beine nach oben gerichtet sind.

d. Das Schlüsselbein.

Nach den verschiedenen voranstehenden Untersuchungen über die Bewegungen der Schulter überhaupt und der Betheiligung der einzelnen Knochen an denselben erscheint es angemessen, mit wenigen Worten noch einmal die Bedeutung des Schlüsselbeines hinzustellen, wie sie sich hauptsächlich aus diesen Untersuchungen ergeben hat.

Als erste Bedeutung desselben stellte sich heraus, dass es das Schulterblatt und somit den ganzen Arm so trägt, dass die Last derselben unter grösserer oder geringerer Beihülfe von Muskelthätigkeiten auf den Thorax und damit auf die Wirbelsäule übertragen wird.

Seine zweite Bedeutung ist die, dass es bei verschiedenen lokomotorischen Verwendungen der oberen Extremität, wozu auch das Stützen auf die Arme als Analogon des Stehens gerechnet werden kann, den Rumpf tragen hilft, so dass dessen Aufhängung an das Schulterblatt nicht allein der Muskelthätigkeit überlassen ist.

Eine dritte Bedeutung gewinnt es für den Arm. Wenn nämlich in irgend einer Richtung das Schulterblatt angezogen ist, so fixirt es den Akromialtheil desselben, und dadurch wird das Schulterblatt so fest gestellt, dass es einen festen Anlehnungspunkt für die Bewegungen des Armes gewährt. Besonders tritt dieses hervor, wenn durch die Adduktoren des Schulterblattes dieses nach hinten gezogen wird und zwischen diesem Muskelzuge und dem Widerstande des Schlüsselbeines fest an den Rumpf angelegt erscheint.

Die vierte Bedeutung ist die bereits in einem früheren Abschnitte besprochene, dass es nämlich sei solchen lokomotorischen Aktionen, welche mit einem Einwärtsdrängen des Schultergelenkes verbunden sind, Widerstand leistet und damit eine die Bewegung störende Komponente beseitigt.

Es vermittelt demnach die gegenseitigen statischen und mechanischen Beziehungen zwischen dem Rumpfe und der oberen Extremität; — und gibt den Bewegungen und Haltungen des Schulterblattes und somit der oberen Extremität sichernde Normen.

2. Das Ellenbogengelenk.

Die Grundzüge für den Bau des Ellenbogengelenkes sind im Ganzen sehr einfach. Ulna und Radius, zu einer Einheit verbunden, artikuliren mit Gynglymuscharakter auf der Rolle, welche das untere Ende des Humerus ihnen darbietet; als ein Accidentelles erscheint es dabei, dass der von dem Radius bestrichene Theil dieser Rolle eine solche Gestalt besitzt, dass er demselben seine Drehbewegung um die Ulna in jeder Stellung des Ellenbogengelenkes gestattet. Indessen zeigt doch das Ellenbogengelenk eine Menge von Eigenthümlichkeiten, welche das eben gegebene einfache Bild ziemlich verwickelt zu machen geeignet sind, — und welche bei genauerer Untersuchung des Gelenkes nach und nach sich bemerklich machen.

A. Die Flexionsebene.

Schon die erste Frage, welche an eine solche Untersuchung zu stellen ist, lässt eine solche Eigenthümlichkeit entdecken, welche um so schärfer hervortritt, wenn man dabei im Auge behält, dass die Artikulation der Ulna mit dem Humerus das Massgebende für den Charakter des ganzen Gelenkes ist.

Fragt man nämlich zuerst nach dem Verhältniss der Flexionsebene zu den das Gelenk konstituirenden Knochen, so findet man, wenn man vorläufig von dem später zu erwähnenden Schraubengange des Gelenkes absieht, eine auffallende Lage derselben zu der Rolle. — Die Bestimmung der Lage einer Flexionsebene, wenn man die Anforderungen an Genauigkeit nicht zu hoch stellt, bietet keine besondere Schwierigkeit, indem man ja nur durch die annähernd bestimmte Gelenkaxe eine zu ihr senkrecht stehende Ebene zu legen hat. Es wird sich dabei indessen um die Frage handeln, in welchem Punkte der Axe diese Ebene zu legen sein würde. Hat man die Meinung, dass durch die gewählte Ebene es möglich sei, den Weg der beiden Knochen möglichst genau zu bezeichnen, so wird man natürlich darauf bedacht sein, unter den verschiedenen Ebenen, welche man unter einander parallel durch die Gelenkaxe legen kann, diejenige zu wählen, in welcher eine so grosse Länge des Knochens, als möglich ist, sich gelegen findet. Für die meisten Ginglymusgelenke ist die Wahl hier leicht, indem die Längenaxe beider Knochen senkrecht zur Gelenkaxe zu stehen pflegt, so z. B. bei den Gelenken zwischen den Fingerphalangen; — man kann deshalb für die meisten Ginglymusgelenke als Flexionsebene diejenige Ebene bezeichnen, in welcher die Längenaxen der beiden Knochen in jeder Stellung des Gelenkes gelegen sind, — und diese Ebene durchschneidet dann die

Gelenkaxe ungefähr in deren Mitte. — Anders ist es bei dem Ellenbogengelenke. Legt man hier die Längenaxe in die beiden für das Gelenk massgebenden Knochen, den Humerus und die Ulna, so findet man, dass beide Längenaxen für's Erste schief gegen die Gelenkaxe gestellt sind und für's Zweite an ganz verschiedenen Punkten mit der Gelenkaxe zusammentreffen. Für die Bestimmung der Flexionsebene können also in diesem Falle die beiden Längenaxen auch nicht einmal annähernd dienen und man hat deshalb die Flexionsebene dadurch zu finden, dass man unter den senkrecht zur Gelenkaxe gelegenen Ebenen diejenige sucht, welche den oben gestellten Ansprüchen am Meisten genügt. Beginnt man nun, von dem *condylus internus humeri* ausgehend, senkrechte Ebenen durch die Gelenkaxe zu legen, so findet man, dass die ersten dieser Ebenen nur einen sehr kleinen Theil beider Knochen durchschneiden. Erst, wenn man nach aussen hin bis zu dem Mittelpunkte der *eminentia capitata* gelangt ist, hat man eine den gestellten Anforderungen entsprechende Ebene gefunden, denn in ihr liegt der Mittelpunkt des Humeruskopfes und der Mittelpunkt des *capitulum ulnae*. Die Lage dieser Ebene ist durch die Linie bezeichnet, welche in meinem Lehrbuche unter dem Namen »Konstruktionsaxe« in die Knochen des Armes eingezeichnet ist. Der eigentlich massgebende Theil des Gelenkes liegt also ausserhalb der durch die bewegten freien (nicht am Gelenk theilnehmenden) Enden der beiden Knochen bestimmten Flexionsebene, und zwar liegt er auf der dem Rumpfe zugewendeten Seite derselben.

An der *eminentia capitata* liegt aber das *capitulum radii* an; dieses letztere muss deshalb auch nothwendig von der Flexionsebeue durchschnitten werden, und so treffen wir hier das interessante Verhältniss, dass alle drei in dem Ellenbogengelenke zusammenstossenden Knochen in der Flexionsebene gelegen sind. — Insofern, als die oben bezeichnete Konstruktionsaxe, so weit sie in dem Unterarme liegt, ebenso massgebend für das Lagenverhältniss der vereinigten beiden Unterarmknochen zu der Flexionsebene wird, wie dieses sonst von der Axe der in einem Ginglymusgelenke vereinigten Knochen aufgestellt wird, kann dieselbe in ihrem dem Unterarme angehörigen Theile auch als »Axe des Unterarmes« bezeichnet werden.

Prüft man weiter, so findet man aber, dass diese Axe des Unterarmes noch eine weitere Bedeutung hat. Indem sie nämlich von dem Mittelpunkte der *eminentia capitata* ausgeht, auf welcher sich das *capitulum radii* dreht, und in dem *capitulum ulnae* (etwas näher dem *processus styloides ulnae*) endet, um welches sich das untere Ende des Radius dreht, ist diese Linie zugleich die Drehaxe des Radius.

Sehr merkwürdig ist das Verhalten der beiden Unterarmknochen zu dieser Drehaxe. Der obere Theil des Radius bis zu der *tuberositas* liegt

nämlich ganz in derselben, so dass die Axe dieses Theiles des Radius mit der Drehaxe zusammenfällt; — von der *tuberositas* an tritt aber der Radius, einen leichten Bogen bildend, aus der Richtung der Drehaxe heraus und schliesst sich dann mit seinem unteren Ende dem *capitulum ulnae* an. — Die Fortsetzung der Axe liegt sodann in dem grösseren unteren Theile der Ulna, indem sie von der *crista ulnae* aus allmälig in die Ulna eindringt und in dem *capitulum ulnae* an der bezeichneten Stelle endet; — die Ulna liegt also unterhalb der *tuberositas radii* an und in der Drehaxe und ihr oberer Theil, welcher die Gelenkfläche für den Humerus trägt, ist unter einem stumpfen Winkel gegen diesen unteren Theil abgebogen. Wegen der Lage der Trochlea an dem Humerus geht diese Abbiegung natürlich nach innen. Von hinten ist diese Abknickung der Ulna besonders deutlich zu sehen; der abgeknickte Theil nimmt hier den Ansatz des *m. anconaeus quartus* auf.

Gibt man dem Radius die mittlere Stellung zwischen Pronation und Supination, so befindet sich dessen *processus styloides* gerade vor, oder bei Beugung des Ellenbogens gerade über dem *processus styloides* der Ulna; — somit liegt der ganze Radius in der Flexionsebene. — Da nun in dieser Lage seine *crista* der *crista* der Ulna gegenüberliegt und da diese, wie vorher gezeigt, ebenfalls in der Flexionsebene gelegen ist, so ist damit auch das ganze *ligamentum interosseum* in der Flexionsebene gelegen.

Untersucht man nun ferner den Bau des *ligamentum interosseum*, so findet man, dass dieses keineswegs eine aus wirren Fasern gefilzte Membran ist, sondern einen regelmässigen Bau zeigt, welcher darin besteht, dass starke Fasern, aus dem Perioste an beiden, namentlich der volaren Fläche der *crista radii* sich entwickelnd zu der *crista ulnae* etwas absteigend hinunterziehen und in gleicher Weise, wie mit der *crista radii*, auch mit der *crista ulnae* verbunden sind.

Wendet man sodann seine Aufmerksamkeit auf die Verbindung des unteren Endes beider Knochen, so findet man für's Erste die der Hauptsache nach aus zwei starken fibrosen Streifen bestehende *cartilago triangularis*, welche, von der ganzen Breite der *incisura semilunaris radii* entspringend, sich als *ligamentum subcruentum* an den *processus styloides ulnae* ansetzt; — das *ligamentum subcruentum* entsteht durch die Vereinigung der beiden genannten fibrosen Streifen, eines volaren und eines dorsalen. Man findet aber auch ferner, dass der an den Rand der *cartilago triangularis* sich anreihende Theil der *membrana sacciformis* so organisirt ist, dass er auf der dorsalen wie auf der volaren Seite eine dreieckige Platte darstellt. Diese beiden Platten entspringen breiter an den beiden Längsrändern der *incisura semilunaris radii* und zeigen einen Faserverlauf, welcher gegen den *processus styloides ulnae* hingeht und mit einer

koncentrirten Anheftung unter Vereinigung mit dem *ligamentum subcruentum* an diesem Theile der Ulna sich ansetzt. Diese beiden Platten sind also eigentlich Verbreiterungen der beiden die *cartilago triangularis* konstituirenden fibrosen Streifen, welche das *capitulum ulnae* an der dorsalen und der volaren Seite umgreifen und zugleich den *processus styloides ulnae* an einen verhältnissmässig breiten Theil des Radius anheften helfen. Man findet sogar einen direkteren Anschluss dieser Platten an das Fasersystem des *ligamentum interosseum*.

Auf solche Art sind also in der mittleren Stellung des Radius gegen die Ulna diese beiden Knochen innig unter einander vereinigt und der ganze Apparat liegt in der Flexionsebene mit Ausnahme des obersten Theiles der Ulna. — Bewegungen, welche in dieser Lage dem Radius mitgetheilt werden, müssen demnach auch unmittelbar auf die Ulna übertragen werden. Die seitliche Stellung des oberen Endes der Ulna könnte aber dabei eine Art von Horizontalschub in diesem veranlassen und diesen durch Heranziehen der Ulna an den Radius während der Beugebewegung zu verhindern, scheint die Hauptbedeutung der *chorda transversalis* zu sein, welche von dem Radius hinaufsteigend zur Ulna geht. Eine andere verwandte Bedeutung der *chorda* ist später zu besprechen.

B. Die Muskeln.

Vergleicht man nun mit diesen Verhältnissen die Anordnung der Muskeln des Ellenbogengelenkes, so findet man mehrfach Interessantes.

Beachtet man zuerst die beiden hauptsächlichsten Beuger, den *m. brachialis* und den *m. biceps*, so findet man, dass beide annähernd in der in dem Obigen aufgestellten Flexionsebene angeheftet sind. Die Anheftungsstelle des *m. brachialis* an der *tuberositas ulnae* liegt nämlich unterhalb des *processus coronoides ulnae*, und zwar dem Radius so nahe, als es möglich ist [1]. — Der Ansatz des *m. biceps* befindet sich an der *tuberositas* des Radius so angeordnet, dass er stets an der der Ulna zugewendeten Seite des Radius anzunehmen ist. Nur in der extremsten Supinationsstellung sieht nämlich die *tuberositas radii* annähernd nach vornen und da es der ulnare Rand der Tuberositas ist, an welchen sich die Sehne des *m. biceps* ansetzt, so ist auch in dieser Stellung die Anheftung dieser Sehne in möglichster Nähe der Ulna. Bei dem Uebergang in die Mittelstellung und weiter in die Pronationsstellung wickelt sich dann die Sehne um die Tuberositas auf und zieht sich zwischen Ulna und

1) Die Eigenthümlichkeit der Art, wie der *m. brachialis* die Ulna angreift, kann erst später berücksichtigt werden.

Radius hinein, ist also damit der Ulna noch näher. — Die Ansätze der beiden wichtigsten Flexoren sind demnach einander sehr nahe und dabei der Flexionsebene so nahe als möglich. — Indessen ist in Bezug auf diese beiden Muskeln noch auf das Verhältniss aufmerksam zu machen, dass ihre Hauptrichtungen eine allerdings sehr spitzwinkelige Kreuzung zeigen, indem der *m. brachialis* mehr von aussen gegen die mehr nach innen gelegene Ulna hingeht und der *m. biceps* mehr von innen nach dem weiter nach aussen gelegenen Radius. In die Wirkung beider Muskeln muss dadurch eine, wenn auch unbedeutende, Komponente gelegt sein, welche den Radius gegen die Ulna und die Ulna gegen den Radius hin zieht und beide Knochen dadurch inniger an einander drängt.

Neben den genannten sind als wirksame Flexoren des Ellenbogengelenkes noch zu nennen der *m. supinator longus* und der *m. extensor carpi radialis longus.* Eine ähnliche, aber geringere Bedeutung hat der *m. pronator teres.* — Die beiden erstgenannten Muskeln haben in Anordnung und Verlauf eine sehr grosse Verwandtschaft, indem sie beide zuerst eine Mittelstellung des Radius erzeugen und dann eine Beugung im Ellenbogengelenke. Für den *m. extensor carpi radialis* ist diese Wirkung unrein, wenn nicht die dorsalflexorische Wirkung auf die Hand durch volarflexorischen Antagonismus aufgehoben ist; ist aber dieses der Fall, dann ist in der Hauptsache seine Wirkung derjenigen des *m. supinator longus* gleich. Beide Muskeln stellen also zuerst den Radius in die Mittelstellung, in welcher derselbe ganz in der Flexionsebene gelegen ist, und beugen dann den so gestellten Radius gegen den Humerus; da beide mit ihren Bäuchen vor der *eminentia capitata* gelegen sind, so liegen also auch beide ihrer ganzen Länge nach in der Flexionsebene. Möglichst rein ist dieses allerdings nur für den *m. supinator longus* der Fall; der *m. extensor carpi radialis longus* liegt etwas mehr nach der radialen Seite und seine Sehne geht ja auch bekanntlich an der dorsalen Seite des *processus styloides* vorbei; aber gerade dieses Verhältniss des eben genannten Muskels kann wiederum als von Wichtigkeit erkannt werden, wenn man sich daran erinnert, dass der *m. biceps* und der *m. brachialis* in ihrer Anheftung eine Abweichung nach der ulnaren Seite von der Flexionsebene zeigen; man findet nämlich dann, dass diese beiden Abweichungen sich gegenseitig kompensiren. — Der *m. pronator teres* kann als Flexor eine grosse Bedeutung nicht gewinnen, weil er die Axe des Ellenbogengelenkes in grosser Nähe überschreitet; seine Hauptwirkung muss immer die pronatorische bleiben, aber gerade durch diese wird dieser Muskel wichtiger noch für die Beugung des Ellenbogengelenkes, indem er den supinatorischen Antheil der Wirkung des *m. biceps* antagonistisch aufhebt, wobei er aber noch Unterstützung durch den *m. pronator quadratus* finden kann. Die flexorische Neben-

wirkung erscheint dann als eine Ergänzung und Unterstützung des *m. biceps.*

Beim Ueberblick über die besprochenen Muskelanordnungen findet man also, dass sich die merkwürdigen Thatsachen herausstellen,

1) dass die mittlere Stellung des Radius gegen die Ulna die günstigste Stellung für die Beugemuskeln des Ellenbogengelenkes ist, weil die Zugrichtung von allen alsdann in die Flexionsebene entweder vollständig oder doch annähernd hineinfällt, so dass also eine störende Seitenkomponente nicht vorhanden ist und die Wirkung ungetheilt senkrecht zur Gelenkaxe sich geltend machen kann;
2) dass zwar die Ulna massgebend für den Ginglymuscharakter des Gelenkes ist, dass aber der in der Mittellage befindliche Radius massgebend wird für die Flexionsebene;
3) dass die bedeutendere Menge von Muskelkraft zunächt den Radius angreift, dass aber dessen Verbindung mit der Ulna eine so innige ist und eine solche Anordnung zeigt, dass der bewegte Radius dadurch in den Stand gesetzt ist, unter günstigsten Bedingungen die Ulna mit sich zu führen.

Vergleicht man nun mit diesen Verhältnissen die Beziehungen der Streckmuskeln für das Ellenbogengelenk, so findet man hier ebenfalls Anordnungen, welche in ähnlicher Weise wie die Anordnungen der Beugemuskeln direkt auf die aufgestellte Flexionsebene bezogen werden müssen. — Das *olecranon ulnae* wird zwar als die Anheftungsstelle des *m. triceps brachii* bezeichnet; diese Angabe ist indessen nicht ganz richtig; man kann sich nämlich leicht überzeugen, dass die Sehne des genannten Muskels sich in Gestalt einer breiten Aponeurose an den radialen Rand des oberen abgeknickten Theiles der Ulna ansetzt, so dass er somit das Gelenk des *capitulum radii* gegen die *eminentia capitata* von hinten vollständig deckt; der Zug dieses kräftigen Muskels erscheint dadurch mehr in die Flexionsebene gerückt und setzt sich ungefähr in der Richtung der Axe des unteren grösseren Theiles der Ulna fort. — Eine nicht unwichtige Modifikation dieser Wirkung wird durch den als integrirenden Theil zu dem *m. triceps* gehörenden *m. anconaeus quartus* gegeben, welcher, bedeckt durch jene Aponeurose, von dem *condylus externus humeri* mit divergenter Faserung zu der radialen Seitenfläche des oberen schiefen Theiles der Ulna geht und dadurch noch eine Komponente für den *m. triceps* liefert, die dessen Resultirende in noch mehr Uebereinstimmung mit der Flexionsebene stellt.

Dass Bewegungen der Ulna den Radius ebenso gut mitführen müssen, wie die Beugebewegungen des Radius die Ulna mitführen, ist bei der geschilderten innigen Vereinigung beider Knochen selbstverständlich.

So stellt sich also in Bezug auf die gegenseitigen Beziehungen der beiden Knochen des Unterarmes und ihre Bedeutung als zweites Glied der oberen Extremität das merkwürdige Verhältniss heraus, dass der Radius viel mehr, als es auf den ersten Anblick erscheint, eine massgebende Bedeutung gewinnt, während bei der Ulna der obere Theil nur als führendes Element vorzugsweise seine Geltung hat; — und es ist deshalb auch von grossem Interesse und für das Verständniss der menschlichen Unterarmknochen von Wichtigkeit zu finden, dass der Radius bei solchen Thieren, bei welchen er keine Drehbewegungen ausführt, zum Hauptknochen des Unterarmes wird, während die Ulna fast in eine fibulare Stellung zurücktritt und in manchen Fällen zu der Bedeutung eines »*processus anconaeus radii*« herabsinkt.

Aus demjenigen, was sich in dem Obigen über die Wirkung der Muskeln des Ellenbogengelenkes erkennen liess, geht aber auch ferner hervor, dass in der mittleren Stellung des Radius gegen die Ulna sämmtliche Beugemuskeln des Ellenbogengelenkes am günstigsten für eine möglichste Kraftentfaltung gestellt sind.

Vergleicht man nun damit die beiden extremen Stellungen des Radius, so findet man, dass die in zweiter Linie günstigste Stellung die pronatorische ist. Die Ursache hierfür ist in dem folgenden Verhältnisse zu erkennen: In der angegebenen Lagerung ist nämlich bekanntlich der Radius in schräger Kreuzung über die Ulna gelegt und sein unteres Ende liegt an der inneren (ulnaren) Seite des *capitulum ulnae*, so dass die Verbindungslinie des *processus styloides radii* mit dem Mittelpunkte des *capitulum ulnae* der Axe des Ellenbogengelenkes parallel ist. Mit dieser Lagerung ist nun aber auch zugleich eine andere in mechanischer Beziehung äusserst wichtige Veränderung in den gegenseitigen Verhältnissen der drei bei dem Ellenbogengelenke interessirten Knochen gegeben. Zwei an den Enden der Ellenbogenaxe senkrecht zu dieser gezogene Linien begrenzen nämlich an dem Handende des Unterarmes die beiden Knochen gleichmässig, so dass die Zeichnung der vorderen Ansicht beider in ein Rechteck hineinpasst oder mit einem solchen umrahmt werden kann. Es ist deshalb auch von einem jeden Punkte der unteren Querlinie, welche durch das Handende beider Knochen gelegt werden kann, eine Senkrechte auf die Ellenbogenaxe möglich und jede dieser Senkrechten wird dann, weil sie durch die ganze Länge der beiden (zu einer Einheit verbundenen) Knochen geht, als massgebend für die Bezeichnung der Flexionsebene angesehen werden dürfen. Selbstverständlich wird man aber nur eine solche Linie brauchen können, und da ist denn kein Zweifel, dass man die mittlere von Allen dafür wählt, welche als solche die Axe der als Einheit anzusehenden Kombination von Ulna und Radius in der bezeichneten Lage darstellt. — Vergleicht man nun

die Anordnungsverhältnisse der Muskeln mit dieser Axe, so findet man sie im Ganzen sehr günstig. Der *m. biceps* liegt mit seinem Ansatze gerade in dieser Axe; — der *m. pronator teres* hat die für seine flexorische Wirkung günstigste Lage. Die beiden Muskeln, *m. supinator longus* und *m. extensor carpi radialis longus*, liegen zwar in gekreuzter Richtung über die Axe, — und die schiefe Richtung, welche sie hierbei besitzen, ist allerdings nicht so günstig, wie die Richtung, welche sie in der mittleren Stellung des Radius einnehmen, aber sie ist doch der Art, dass sie entschieden günstiger ist, als in der supinatorischen Stellung. — Die Streckmuskeln werden in ihrer Anordnung und ihrer Wirkung von der Einnahme der pronatorischen Stellung nicht weiter berührt.

Die für Kraftentfaltung der Beugemuskeln entschieden ungünstigste Stellung der Unterarmknochen ist unstreitig die supinatorische. In dieser bilden die beiden Unterarmknochen zusammen einen Rhombus, dessen kurze Diagonale senkrecht auf der Ellenbogenaxe steht. Die Anordnung des *m. brachialis*, *m. biceps* und des *m. triceps* nebst dem *m. anconaeus quartus* ist dabei nicht verschieden von deren Anordnung in den beiden anderen Stellungen; dagegen zeigt die Anordnung der übrigen den Radius angreifenden Muskeln, des *m. pronator teres*, des *m. supinator longus* und des *m. extensor carpi radialis longus*, eine beträchtliche Verschiedenheit. Am Bemerklichsten ist dies bei dem *m. pronator teres;* während dieser nämlich in der pronatorischen Stellung eine Lagerung besitzt, welche nahezu parallel der Flexionsebene ist, liegt er in der supinatorischen Stellung sehr schräg über die Ulna und den Radius hinüber, so dass er die Flexionsebene unter einem Winkel von c. 30° schneidet; — dass dadurch seine flektirende Komponente abgeschwächt wird, ist unschwer zu erkennen. — Auch die beiden anderen Muskeln haben dann eine schräge Lage, indessen ist diese Lage, namentlich für den *m. supinator longus*, nicht in nennenswerther Weise schräger als in der pronatorischen Lage, weil der Ursprung dieser Muskeln über der *eminentia capitata* ist, durch welche die Rotationsaxe des Radius hindurchgeht. Nichtsdestoweniger ist aber doch ihre Lagerung eine für ihre Beugewirkung entschieden ungünstigere, wie der folgende Vergleich zu zeigen geeignet ist: der *m. supinator longus* ist in der pronatorischen Stellung so gelagert, dass seine Zugwirkung auf den *processus styloides radii* in drei Komponenten zu zerlegen ist, nämlich 1) eine in der Flexionsebene oder parallel derselben gelegene, welche die Drehung (Flexion) des Unterarms um die Ellenbogenaxe zu Stande bringt, 2) eine in der Flexionsebene oder parallel derselben gelegene, welche senkrecht auf die Richtung der Ellenbogenaxe gestellt ist und die Unterarmknochen gegen den Humerus andrängt, 3) eine senkrecht gegen die Flexionsebene gestellte, welche quer durch das untere Ende des Radius geht und dieses an das *capitulum ulnae*

andrängt. — In dieselben drei Komponenten muss die Zugrichtung des *m. supinator longus* ebenfalls zerfallen, wenn derselbe die Schieflage besitzt, die ihm in der supinatorischen Stellung zukommt; es ist hier nur der Unterschied, dass in der pronatorischen Stellung die zweite der aufgezählten Komponenten noch wirklich die Ellenbogenaxe selbst trifft, während sie in der supinatorischen Stellung an dem *condylus externus* vorbeigeht, so dass sie nicht die Gelenkenden auf einander drängen kann, sondern bestrebt sein muss, den Radius nach aussen abzubrechen. Da nun aber die Kreisbewegung eines Punktes im Unterarme, also auch diejenige des Ansatzes des *m. supinator longus* die Resultirende ist zwischen der tangential gestellten flektirenden Komponente und dem in der radialen Richtung wirkenden Widerstande gegen die andrückende (oben als zweite hingestellte) Komponente, so ist es ersichtlich, dass in der supinatorischen Stellung die flektirende Aktion des *m. supinator longus* nicht so sicher sein kann, wie sie es in der pronatorischen Stellung ist, und zwar deswegen, weil der zur Erzeugung der sicheren kreisförmigen Führung nothwendige Widerstand fehlt, indem die andrückende Komponente nicht mehr in die Ellenbogenaxe fällt, sondern nach aussen von dem *condylus externus*. — Was hier von dem *m. supinator longus* gesagt ist, gilt in der Hauptsache auch von dem *m. extensor carpi radialis longus*.

Der Unterschied in der möglichen Kraftentfaltung bei der Beugung des Ellenbogengelenkes unter den verschiedenen gegenseitigen Lagenverhältnissen der Unterarmknochen ist also begründet in dem Verhalten der drei sekundären Beuger, indem die Hauptbeuger, *m. biceps* und *m. brachialis*, in den drei typischen Stellungen in unveränderten Verhältnissen bleiben. Will man, ohne auf zu genaue Bestimmungen einzugehen, nur im Allgemeinen den mechanischen Nutzeffekt in seiner Grösse danach bestimmen, ob die Wirkung eines Muskels in zwei oder in drei Komponenten zerfällt, so erkennt man sogleich die supinatorische Stellung als die ungünstigste, weil hier die Wirkung des *m. pronator teres* und ebenso diejenige des *m. supinator longus* und *m. extensor carpi radialis longus* in drei Komponenten zerfällt; günstiger ist die pronatorische, indem in dieser allerdings die Wirkung der beiden letztgenannten Muskeln ebenfalls in drei Komponenten zerfällt, dagegen aber diejenige des *m. pronator teres* nur in zwei; am günstigsten zeigt sich die Mittelstellung, in welcher die beiden kräftigeren langen Muskeln ihre Wirkung nur in zwei Komponenten zerfallen lassen und bei den drei Komponenten, in welche diejenige des *m. pronator teres* zerfällt, ein der Flexion günstigeres Verhältniss vorhanden ist als in der supinatorischen Stellung. — Zur Ergänzung dieser Zusammenstellung ist noch an zwei Punkte zu erinnern, nämlich für's Erste an das oben Besprochene in Betreff der andrückenden Komponente des *m. supinator longus* und für's Zweite daran, dass auch

der *m. biceps* in der supinatorischen Stellung ungünstigere Verhältnisse zeigt, weil hier ein grosser Theil seiner Kontraktionsfähigkeit bereits durch die Supinationsbewegung erschöpft ist.

In Uebereinstimmung hiermit zeigt auch die Erfahrung, dass für die kräftigen Beugebewegungen, welche ausgeführt werden, wenn die obere Extremität zur Lokomotion durch Klettern benutzt wird, vorzugsweise die beiden folgenden Stellungen des Unterarmes verwendet werden, nämlich an der senkrechten Stange die Mittelstellung, welche sich hier von selbst ergibt, und an der wagerechten Stange der pronatorische sog. Kammgriff.

Für die Untersuchung der bisher besprochenen Verhältnisse konnte die Wirkung des *m. brachialis*, *biceps* und *triceps* als einfach flektirende, beziehungsweise extendirende angesehen werden, — und es wurde nur vorläufig angedeutet, dass auch bei diesen Muskeln sich eine dritte in der queren Richtung wirkende Komponente geltend machen muss. Im Interesse genauerer Kenntniss der im Ellenbogengelenke in die Erscheinung tretenden Muskelwirkungen ist es angemessen, diesen Gegenstand noch etwas genauer zu verfolgen; denn wenn man die drei typischen Muskeln des Ellenbogengelenkes in dieser Beziehung untersucht, so findet man noch mehrere interessante Ergänzungen zu den oben durchgeführten Untersuchungen.

Was zuerst den *m. biceps* angeht, so findet man, dass derselbe eine Richtung besitzt, welche in der Hauptsache parallel der typischen, durch die Konstruktionsaxe bestimmten Flexionsebene ist; seine Zugrichtung geht demnach in einer Parallelebene senkrecht zur Ellenbogenaxe, und ist daher eine durchaus günstige; dass die Umrollung um die *tuberositas radii* an diesem Verhältniss nichts ändert, ist in Früherem schon erwähnt. Indessen ist diese Richtung doch nicht ganz rein, indem der *m. biceps* mehr an der inneren Seite des Oberarmes gelegen ist und deshalb in leicht schräger Richtung von der ulnaren Seite her an den Radius hintritt. Die quere Komponente, welche dadurch in seine Wirkung kommt, ist so unbedeutend, dass sie eine nennenswerthe Veränderung in der Hauptwirkung nicht hervorbringen kann; — aber sie verdient doch eine Berücksichtigung insofern, als sie dem Radius einen Zug gegen die Ulna hin gibt, und dadurch eine Bedeutung für den Mechanismus der Unterarmknochen gewinnt. Dieser Zug hilft nämlich einerseits überhaupt die beiden Unterarmknochen in innigere Verbindung bringen, namentlich so lange der Radius sich auf der supinatorischen Seite befindet, und andererseits ist er diejenige Komponente, welche in der supinatorischen Wirkung des *m. biceps* das *capitulum radii* in die *incisura semilunaris minor ulnae* hineindrängt und damit diese Bewegung gesicherter macht. — Der bekannte aponeurotische Streifen, welcher von der Sehne des *m. biceps* sich ablösend in die Fascie an der ulnaren Seite des Unterarms übergeht,

hilft dieses Verhältniss unterstützen, und gibt zugleich eine Kompensation, indem er noch einen mehr ulnar gelegenen, wenn auch indirekten, Angriffspunkt zufügt und dadurch die allgemeine Zugrichtung des *m. biceps* mehr im Sinne des Parallelismus zur Flexionsebene korrigirt.

Der Ansatz des *m. brachialis internus* an die Ulna ist keinesweges auf die *tuberositas ulnae* beschränkt, sondern zieht sich von derselben in einer schrägen Linie an die innere Seite des *processus coronoides* hinauf. Die untersten Fasern sind diejenigen, welche von dem *condylus externus humeri* herkommen. Die Richtung sämmtlicher das Gelenk überschreitenden Fasern wird dadurch eine sehr schief gegen innen gerichtete und der ganze Ansatz auf die Ellenbogenaxe projicirt nimmt fast den ganzen Theil derselben in Anspruch, welcher in der Trochlea enthalten ist. In dieser Richtung sind zwei Komponenten enthalten, von welchen die eine die Gelenkfläche der Ulna gegen die Trochlea andrängt und die andere dem *processus coronoides* der Ulna einen Zug radialwärts ertheilt; und jede derselben erscheint als von wichtiger Bedeutung. Die Bedeutung der ersteren ergibt sich leicht; diejenige der zweiten möchte wohl darin zu erkennen sein, dass sie dem früher schon erwähnten Horizontalschube des stark nach einwärts gestellten oberen Theiles der Ulna entgegenwirkt. Was aber als von besonderer Wichtigkeit erscheint, das ist der Umstand, dass wegen der Breite des Ansatzes beide Komponenten eine sehr umfangreiche Wirkung haben müssen. Man muss nämlich bedenken, dass die angegebene Zerlegung für ein jedes einzelne Faserbündel des Ansatzes vorzunehmen ist und dass dadurch sich ein Andrängen der Ulna für jeden einzelnen Theil der ganzen Länge der Trochlea ergibt, so wie auch, dass dadurch der radialwärts drängende Zug auf die Ulna ebenfalls eine beträchtlichere Breite bekommt. — Die bezeichnete Ansatzweise des *m. brachialis* trägt daher sehr wesentlich dazu bei, die Bewegungen der Ulna durch genaueren Anschluss an die Trochlea zu sichern.

Aehnliches ist von dem Ansatze des *m. triceps* zu sagen. Wir finden hier nur noch eine interessante körperliche Zerlegung der beiden Richtungen. Die gegen den Humerus hin wirkenden Komponenten finden sich vorzugsweise gegeben durch die Verbreiterung des Ansatzes der Sehne über den ganzen äusseren Rand des oberen schiefen Theiles der Ulna. Die quer wirkenden Komponenten finden sich dagegen mehr ausgesprochen in der Anordnung des *m. anconaeus quartus*. Dieser letztere Muskel muss also im Vereine mit dem *m. brachialis internus* eine wichtige Nebenwirkung für Sicherung des oberen Endes der Ulna gegen seitliches Ausweichen gewinnen.

Noch sei hier einer interessanten Aeusserungsweise der quer wirkenden Komponenten in dem *m. brachialis* und dem *m. triceps* Erwähnung

gethan. — In meinem Aufsatze über das Ellenbogengelenk[1]) habe ich darauf aufmerksam gemacht, dass sowohl bei der Streckung als auch bei der Beugung des Ellenbogengelenkes eine Schlussrotation wahrgenommen wird, welche in einer leichten Drehung der Ulna um ihre Längenaxe besteht. In der Beugung wird dabei der *processus coronoides* und in der Streckung der *processus anconaeus* nach aussen, d. h. radialwärts geführt. Es ist unverkennbar, dass in diesen Bewegungen eine Wirkung der queren Komponenten des *m. brachialis* und des *m. triceps* zu erkennen ist. Diese sind zwar in dem Obigen nur in ihren Beziehungen zu der Fixirung der Ulna berücksichtigt, indessen ist doch nicht zu verkennen, dass sie auch ein Bestreben haben müssen, die Ulna um ihre Längenaxe zu rotiren. So lange aber die grossen und starken Bewegungen in der Flexionsebene im Gange sind, kann dieses Bestreben sich nicht geltend machen; sobald jedoch die Beugung oder Streckung eine Hemmung gefunden hat, wird dasselbe in der angegebenen Weise zum Ausdruck kommen können und die erwähnte Schlussrotation zu Stande bringen.

C. Die Bänder.

Die Bänder, welche die Vereinigung der drei Knochen im Ellenbogengelenke vermitteln, sind zugleich so eingerichtet, dass sie als Hemmungsmittel für die Beuge- und die Streckbewegungen dienen können. — Ihrem Charakter als führendem Elemente entsprechend ist es die Ulna, welche allein in Bandverbindung mit dem Humerus steht; dem Radius ist seine freie Beweglichkeit dadurch gesichert, dass er nur an seinem Halse von der allgemeinen Kapsel umgriffen wird und nur eine mehr accidentelle Festerstellung (ohne Bänderinsertion) durch das *ligamentum laterale externum* erhält.

Das typische Bild für die *ligamenta lateralia* gibt das *ligamentum laterale internum*. Der schmale Ursprung an dem *condylus internus* und die ausserordentlich breite Anheftung an dem Rande der Gelenkfläche der Ulna lassen es fast als eine seitliche Fortsetzung der Ulna ansehen, welche mit dieser zusammen eine Rinne bildet, in welcher die Trochlea des Humerus so eingefügt ist, dass deren Basis an dem Bande anliegt. Ein seitliches Ausweichen des einen Knochens von dem anderen ist dadurch auf das Möglichste gehemmt, und findet auch noch einen weiteren Widerstand in den Fasern, welche in der Richtung von Bogensehnen verlaufend die Höhlung der *incisura semilunaris major* seitlich schliessen helfen. Wegen der schmalen Anheftung an dem *condylus internus* kann dieses Band gemeinsam mit der Ulna die Beuge- und Streck-

1) l. S. S. 473.

bewegungen ausführen und bestreicht dabei die Basis der Trochlea. Eine sehr einfache Anordnung lässt aber dieses Band zugleich als Hemmungsband für beide Arten der Bewegung dienen. Bei der Streckung spannen sich nämlich die Stränge des vorderen Randes und bei der Beugung die Stränge des hinteren Randes so, dass sie sich einer weiteren Bewegung widersetzen. Die Anordnung, durch welche dieses zu Stande kommt, ist die folgende: Der Ursprung des Bandes an dem *condylus internus humeri* ist nicht punktförmig, sondern linienförmig (c. 5 Mm. lang); die Lage dieser Ursprungslinie ist so, dass sie horizontal liegt, wenn man die Ulna mit ihrem *capitulum* nach unten senkrecht stellt und dann dem Humerus der Ulna gegenüber die mittlere Stellung gibt. Die Mitte der Linie liegt in dem Endpunkte der Ellenbogenaxe und somit ist in der angegebenen Stellung der beiden Knochen der eine Endpunkt der Linie nach vornen und der andere nach hinten von der Ellenbogenaxe. Führt man nun eine Streckbewegung durch Hebung des Humerus aus, so erhebt sich der vordere Endpunkt der Linie bis der vordere Rand des Bandes gespannt ist, und umgekehrt — wenn man eine Beugebewegung ausführt, so erhebt sich der hintere Endpunkt der Linie bis der hintere Rand des Bandes gespannt ist.

Ganz dieselben Verhältnisse zeigt das *ligamentum laterale externum* in Bezug auf seinen Ursprung am *condylus externus humeri* und die hierauf sich gründende Möglichkeit der Hemmung. In Bezug auf die Anheftung ist für dieses Band das Verhältniss demjenigen des *ligam. internum* insofern ebenfalls gleich, als der Ansatz an dem äusseren Rande der Gelenkfläche der Ulna auch ein sehr breiter ist. Einen Unterschied (jedoch nicht für den Mechanismus der Ulna) begründet nur der Umstand, dass in eine Spalte des *lig. laterale externum* das *capitulum radii* eingeschoben ist, so dass das Band mit einem vorderen Schenkel vor dem *capitulum radii* an die Ulna hingeht und mit einem hinteren Schenkel hinter demselben. Von den diese Schenkel konstituirenden Fasern gehören übrigens nicht alle dem *ligamentum laterale* ganz an, sondern ein Theil derselben geht auch, das *capitulum radii* umkreisend, in den anderen Schenkel über und bildet so das sogen. *ligamentum annulare radii*. Indem die Spalte zwischen den beiden Schenkeln des *ligamentum laterale* sich enger um das *collum radii* dicht unter dem *capitulum* anschliesst, hindert sie zugleich ein Ausweichen des *capitulum radii* nach unten.

Als ein wichtiges Hemmungsband für die Streckung erscheint noch ein sehr kräftiges Band (*ligamentum accessorium cubiti*), welches oberhalb der *fovea cubitalis anterior major* von dem Humerus entspringt und sich an dem *processus coronoides ulnae* gemeinsam mit dem vorderen Schenkel des *lig. laterale externum* ansetzt.

Im Uebrigen sind die Hemmungen auf das Anstossen des *processus coronoides* und des *processus anconaeus* in die entsprechenden Gruben des Humerus angewiesen.

D. Die Einfügung des Radius.

Ueberblickt man die angegebenen Verhältnisse der Bänder, so tritt dabei sogleich die Thatsache in beachtenswerther Weise entgegen, dass der Radius eigentlich in keiner Art durch seine Verbindungen so fest gestellt ist, dass er dadurch vor Schwankungen in seinen Bewegungen gesichert wäre und allerdings scheinen solche auch in dem Kreise der gewöhnlichen Bewegungen mit Regelmässigkeit vorzukommen. Ich habe in dem oben angeführten Aufsatze[1] bereits auf die auffallende Thatsache aufmerksam gemacht, dass der Winkel zwischen der oberen die *cavitas glenoides* tragenden Fläche des *capitulum radii* und der mit der *incisura semilunaris minor ulnae* artikulirenden Seitenfläche desselben kleiner ist, als der Winkel zwischen den entsprechenden Flächen der Ulna und des Humerus, so dass der Radius niemals gleichzeitig eine vollständige Berührung mit diesen beiden Knochen haben kann; — liegt er der *eminentia capitata* fest an, so ist er von der *incisura semilunaris minor* der Ulna abgehoben und umgekehrt. — Mag die Entstehung dieses Verhältnisses als in der Entwickelung begründet angesehen werden oder als eine Folge der Bewegungsart des Radius, so ist doch jedenfalls als sicher anzunehmen, dass in den Beugebewegungen, für welche der Radius in so hohem Grade massgebend ist, eine genauere Berührung seiner *cavitas glenoides* mit der *eminentia capitata* stattfindet, in seinen Drehbewegungen dagegen eine solche der entsprechenden Stelle der *circumferentia articularis* mit der *incisura semilunaris minor ulnae*. — Die ziemlich bewegliche Verbindung seines unteren Endes mit dem *capitulum ulnae* gestattet diese Schwankungen wohl. — Die Frage, welche Muskelthätigkeiten den einen oder den anderen Anschluss inniger machen müssen, wird sich ohne Schwierigkeit beantworten lassen und muss durch ihre Beantwortung zugleich die Zulässigkeit der oben gegebenen Auffassung in das richtige Licht stellen. Das Abziehen von der Ulna und Annähern an die *eminentia capitata* kann nur die Wirkung solcher Muskeln, beziehungsweise Muskellagerungen sein, durch welche der Radius so angegriffen wird, dass dabei eine rotirende Komponente nicht vorhanden ist oder doch wenigstens gegen eine in der Längenrichtung des Unterarms wirkende oder gegen eine flektirende beträchtlich zurücktritt. — Diesen Anforderungen entspricht am Meisten der *m. supi-*

1) I. S. S. 475—476.

nator longus, namentlich in der Mittelstellung des Radius, in welcher er rein flektirend ist, aber auch in den beiden extremen Radiusstellungen und unter diesen am Entschiedensten in der supinatorischen Stellung, in welcher die in der Längenrichtung des Unterarms liegende Komponente auf der von der Ulna abgewendeten Seite des Radius liegt. — In ähnlicher Weise müssen aber auch alle vom *condylus externus humeri* gegen die Hand gehenden Muskeln wirken, indem sie von der Hand aus dem Radius einen longitudinal wirkenden Druck mittheilen; zunächst betrifft dieses den *m. extensor carpi radialis longus*, dessen Verwandtschaft mit den *m. supinator longus*, namentlich wegen seiner flektirenden Nebenwirkung bereits in dem Früheren hervorgehoben werden musste, — dann aber auch den *m. extensor carpi radialis brevis*, — weniger den *m. extensor digitorum communis* und am wenigsten den *m. extensor carpi ulnaris*.

Als Bedingung für das Andrängen an die Ulna und Abziehen von der *eminentia capitata* müssen solche Muskelwirkungen erscheinen, welche von der Ulna aus oder über die Ulna hin auf den Radius gerichtet sind. Hier sind es nun vor Allem der *m. supinator brevis* und der *m. pronator quadratus*, namentlich ersterer, weil er seinen Angriffspunkt an dem oberen Ende des Radius hat; — dann ferner der *m. pronator teres*, welcher mit dem *m. supinator brevis* zusammen eine den Radius gegen die Ulna hindrängende Schlinge bildet; — und dann auch noch in schwächerer indirekter Wirkung von der Hand aus der *m. flexor carpi radialis* und etwa auch der *m. flexor digitorum communis superficialis*. — Dem *m. abductor longus* und dem mit ihm eng verbundenen *m. extensor brevis pollicis* dürfte eine ähnliche Wirkung zukommen, jedoch wegen ihres sehr longitudinalen Verlaufes in nur schwachem Grade.

Dem *m. biceps* kann in Bezug auf diese Frage eine bestimmte Stellung nicht leicht angewiesen werden, indem er allerdings eine von der ulnaren Seite an den Radius hintretende Richtung hat, insofern also gegen die Ulna anziehend wirken muss, — andererseits aber auch eine stark flektirende Komponente besitzt, mit welcher Andrängen gegen die *eminentia capitata* verbunden ist, und ausserdem durch den Seitendruck seiner den Radius umwickelnden Sehne diesen von der Ulna wegdrängen muss.

An dem angeführten Orte[1]) hatte ich auch Veranlassung, auf eine weitere Ungenauigkeit in dem Baue des oberen Radiusgelenkes aufmerksam zu machen, welche darin besteht, dass 1) der Querschnitt des *capitulum radii* nicht drehrund ist, sondern oval, und dass 2) der Krümmungs-

1) l. 8. S. 474 u. 475.

halbmesser der *incisura semilunaris minor* der Ulna grösser ist als der mittlere Krümmungshalbmesser des *capitulum radii,* so dass annähernd genau nur die lange Seite des unter 1 erwähnten Ovales in diese Incisur passt. — In der mittleren Lage des Radius befindet sich nun aber gerade eine kurze Seite des Ovales seines Köpfchens, an welcher auch die *circumferentia articularis* durch Höhe und annähernd gerade Erzeugungslinie entschiedener als Gelenkfläche organisirt ist, in Berührung mit der *incisura semilunaris minor* der Ulna. In der mittleren Lage des Radius und in den dieser benachbarten Lagen, welches gerade die gewöhnlich gebrauchten sind, ist daher die Einfügung des Radius eine sehr ungenaue, und ein engeres Anliegen findet nur in der Supinations- und der Pronationslage statt; — aber auch hier ist der Anschluss nicht genau, weil die Erzeugungslinie der *circumferentia radii,* mit Ausnahme der oben bezeichneten Stelle, eine Bogenlinie von sehr kleinem Krümmungshalbmesser ist, so dass also an der durch eine gerade Erzeugungslinie gebildeten *incisura semilunaris minor ulnae* ein wulstiger Rand des *capitulum radii* anliegt.

Wahrscheinlich ist auch hier die Einwirkung der Muskeln auf den sehr beweglichen Radius Ursache für die Entstehung dieser Verhältnisse, wenn auch nicht mit solcher Zuverlässigkeit, wie in der vorher besprochenen Ungenauigkeit der Nachweis dafür gegeben werden kann. Die Möglichkeit für dergleichen Folgen der Muskeleinwirkungen ist aber nur bedingt durch den Mangel einer festeren Bandverbindung des Radius mit dem Humerus.

E. Die Artikulation der Ulna.

Gesicherter als die Bahnen des Radius ist die Bahn der Ulna an dem Humerus[1]. Schon die Anordnung der Bänder weist darauf hin, dass die Verbindung der beiden Knochen ein regelrechter Ginglymus ist und die Untersuchung der Gelenkflächen bestätigt dieses vollkommen und lehrt zugleich eine tief eingeschnittene Führungslinie in der Trochlea als Sicherstellung gegen seitliches Verschieben erkennen. Ganz genau entspricht diese Artikulation allerdings nicht dem bekannten Schema des Ginglymus, aber die Abweichung, welche sie von diesem Schema zeigt, ist eine so allgemeine, dass es wahrscheinlich gar keinen Ginglymus ohne dieselbe gibt und dass der mathematisch reine Ginglymus nur im Schema gefunden wird. — Die Führungslinie bildet nämlich einen Schraubengang, welcher in einer Steigung von 3 Mm. auf den Umgang nach vornen radialwärts aufsteigt. — Die Ursache für die Entwickelung dieses

1) vgl. I. 8.

Schraubenganges ist ohne Zweifel zu suchen in dem Gegen-einanderwirken des *m. triceps* und des *m. brachialis internus*, von welchen der erstere mehr von innen nach aussen, der letztere mehr von aussen nach innen die Hauptrichtung seiner Kraft abweichen lässt. Beide Modifikationen der Richtung kann man sich durch das Bild einer Schlinge am Einfachsten vergegenwärtigen, welche man von dem *caput scapulae* zum *olecranon* und dann durch dieses und den *processus coronoides ulnae* auf die vordere Seite des Humerus zur *crista condyli externi* führt. Mit dem Bild dieser Schlinge hat man dann auch zugleich die Richtung des Spiralganges der Trochlea bezeichnet.

Eine wirkliche, aber kleine Abweichung von dem reinen Ginglymuscharakter des Gelenkes zwischen Ulna und Humerus findet sich nur ausgesprochen in dem bereits im Früheren ausgesprochenen Verhältnisse einer kleinen Schlussrotation in der Beugung und einer eben solchen in der Streckung.

Trotzdem, dass der Ginglymuscharakter im Uebrigen bei dem Gelenke zwischen Ulna und Humerus sehr bestimmt und unverkennbar ausgesprochen ist, finden sich in demselben doch noch gewisse Eigenthümlichkeiten, welche diesen Charakter auf den ersten Anblick etwas trüben. Namentlich ist in dieser Beziehung die anscheinende Ungenauigkeit in der gegenseitigen Deckung der beiderseitigen Gelenkflächen zu erwähnen, welche sich aber durch genauere Untersuchung derselben durchaus befriedigend aufklärt.

Vor Allem ist hier die Gelenkfläche der Ulna zu beachten; denn diese zeigt die auffallendsten Gestaltungen, deren richtiges Verständniss aber dann auch für alle übrigen eigenthümlichen Erscheinungen Erklärung gibt. Als besonders bemerkenswerthe Erscheinung an dieser tritt uns zuerst eine tiefe und rauhe Rinne entgegen, welche eine Gelenkfläche des Olekranon von einer Gelenkfläche des *processus coronoides* abscheidet, so dass dadurch das Olekranon als eine knöchern verbundene Ulna-Patella erscheint, deren ursprüngliche Trennung noch durch jene Rinne angedeutet wird. — Beide Gelenkflächen haben ein sehr verschiedenes Aussehen, so dass sie auf den ersten Anblick gar nicht als Theile derselben Gelenkfläche erscheinen. Es sind indessen nur Nebenpunkte, in welchen sie von einander verschieden sind. Um die Uebereinstimmung und die Verschiedenheit zwischen diesen beiden Flächen zu erkennen, zerlegt man die ganze *incisura semilunaris major ulnae* durch Ebenen, welche parallel der als Führungslinie dienenden Mittelrippe liegen, in drei Theile; — der mittlere Theil, welcher die Mittelrippe in sich enthält, sei etwas mehr als die Hälfte der ganzen Breite der Gelenkfläche; — die beiden zur Seite übrig bleibenden Streifen seien ungleich, indem der an der radialen Seite liegende breiter ist, als derjenige an der inneren

Seite. — Es zeigt sich nun, dass der breitere mittlere Streifen an dem Olekranon und an dem *processus coronoides* dieselbe Erzeugungslinie besitzt, so dass dieser also als die durchaus gleichmässig gestaltete, eigentlich massgebende Gelenkfläche in der *incisura semilunaris ulnae* anzusehen ist; indessen erleidet allerdings die Kontinuität dieser Fläche eine Unterbrechung durch die oben bezeichnete rauhe Querrinne. — Der an der inneren Seite abgetrennte Streifen besitzt ebenfalls dieselbe Erzeugungslinie in seiner ganzen Länge; insofern würde er sich demnach ohne Weiteres an den mittleren Streifen anreihen und mit ihm die gleiche Bedeutung haben; aber er hat doch Eigenthümlichkeiten, welche seine Trennung nothwendig machen; die erste derselben ist die, dass dieser Streifen nicht ein Kontinuum ist, sondern aus zwei ganz getrennten Theilen besteht, deren jeder einen Kreisabschnitt darstellt, von welchen der eine die Gelenkfläche des Olekranon und der andere diejenige des *processus coronoides* an der inneren Seite zu rundlichen Scheiben ergänzt. Die zweite Eigenthümlichkeit gründet sich auf die Berührungsweise mit der Trochlea und kann daher erst in dem Späteren berücksichtigt werden. — Sehr merkwürdig ist die Gestaltung des äusseren Streifens, denn in diesem ist eigentlich die Verschiedenheit der Gestalt des Olekranon und des *processus coronoides* ausgesprochen. An dem Olekranon ist er nämlich eine sehr stark nach aussen gerichtete Fläche, welche namentlich der Gelenkfläche des Olekranon ihre sehr bemerkliche quere Wölbung gibt; an dem *processus coronoides* ist sie dagegen sehr flach und gibt dadurch diesem letzteren wesentlich seinen flächenhaften Charakter. Diese beiden, so sehr verschiedenen Formen dieses Streifens sind aber nicht schroff gegen einander abgesetzt oder in ihrem Vorkommen auf die bezeichneten Theile des Gelenkendes der Ulna beschränkt, sondern es findet sich eine Uebergangsstelle an dem hinteren Theile des *processus coronoides*. Die stark nach aussen gewendete Fläche des Olekranon setzt sich nämlich mit Ueberspringung der rauhen Querfurche noch eine Strecke weit auf den *processus coronoides* fort und endigt allmälig in eine Spitze auslaufend neben dem Mittelstreifen. In dem Verhältnisse, wie sie niedriger wird, steigt dagegen der äussere Seitenstreifen des *processus coronoides* gegen den hinteren freien Rand des äusseren Seitenstreifens des Olekranon und bleibt somit in einer horizontaleren Lage als der übrige hintere Theil des *processus coronoides*, welcher der allgemeinen Krümmung der *incisura semilunaris ulnae* folgend, sich nach hinten erhebt. Gestalt und Bedeutung dieser Fläche wird übrigens deutlicher sich aus dem Folgenden erkennen lassen; indem sie ihre Wichtigkeit erst im Vereine mit der entsprechenden Stelle der Trochlea gewinnt.

Was nun die Gestalt der Trochlea angeht, so findet man in dieser die Eigenthümlichkeiten, welche an der Gelenkfläche der Ulna gefunden

wurden, in entsprechender Vertheilung wieder, und man kann die Grundzüge in der Gestalt der Trochlea in Kürze mit Folgendem hinstellen: Die Trochlea-Oberfläche ist für die Artikulation mit dem *processus coronoides* eingerichtet; diese Einrichtung geht aber nur so weit als der *processus coronoides* überhaupt die Trochlea bestreichen kann, und das ist ungefähr derjenige Theil derselben, neben welchem die *emenentia capitata* gelegen ist; der übrige nach hinten gelegene Theil der Trochlea, welcher nur von dem Olekranon berührt wird, ist diesem entsprechend gestaltet; da nun aber in der Beugung das Olekranon auch auf denjenigen Theil der Trochlea kommt, welcher für den *processus coronoides* eingerichtet ist, so muss dasselbe in diesem Theile wenigstens kein Hinderniss für seine Bewegung finden. — Diesem gemäss findet man durch die ganze Oberfläche der Trochlea einen breiten Mittelstreifen, in welchem die vertiefte Führungslinie derselben enthalten ist. Dieser Streifen entspricht vollständig dem beschriebenen Mittelstreifen das Olekranon und des *processus coronoides*, und es ist deshalb möglich, den herausgeschnittenen Mittelstreifen des Olekranon oder des *processus coronoides* in beständiger genauer Berührung um die ganze Trochlea herumzuführen, auch über solche Theile derselben, welche sonst nicht von dem betreffenden Theile der Ulna bestrichen werden. — Ein innerer Ergänzungsstreifen, welcher dem in dem Früheren als Theil der Olekranonfläche und der Fläche des *processus coronoides* beschriebenen inneren Ergänzungsstreifen entspricht, fehlt dem hinteren Theile der Trochlea gänzlich, so dass in der Streckung der entsprechende Theil des Olekranon vollständig frei liegt, ohne Berührung mit einer gegenüberliegenden Gelenkfläche; indessen tritt doch ungefähr an der Stelle, welche an der Trochlea in der Streckstellung durch das Gegenüberliegen der rauhen Rinne bezeichnet wird, ein innerer Seitenstreifen zuerst als schmaler Saum auf, wird dann allmälig entsprechend breiter und verschmälert sich dann allmälig wieder gegen vornen; der breiteste Theil ist an der Stelle, an welcher in der mittleren Stellung des Ellenbogengelenkes der *processus coronoides* zu liegen kömmt; dessen innerer Seitenstreifen ist daher auch in dieser Stellung vollständig mit der Trochlea in Berührung; — in grösserer Beugung oder Streckung ist dagegen wegen grösserer Schmalheit des Streifens an der Trochlea ein Theil des Seitenstreifens des *processus coronoides* frei ohne gegenüberliegende Gelenkfläche. — In der Beugung tritt allmälig der in der Streckung frei liegende innere Seitenstreifen des Olekranon auf den bezeichneten Seitenstreifen der Trochlea und ist alsdann in der extremsten Beugung in vollständiger Berührung mit demselben. — Der äussere (radiale) Seitenstreifen der Trochlea ist entsprechend der sehr verschiedenen Gestalt der entsprechenden Theile der *incisura semilunaris major* der Ulna auch sehr verschieden gestaltet. In dem hinter (über) der

eminentia capitata gelegenen Theile der Trochlea, welche auch nach aussen etwas verbreitert ist, ist der äussere Seitenstreifen eine stark aufsteigende Seitenwand, an welche sich in der Streckstellung der stark gewölbte äussere Seitentheil der Olekranonfläche anlegt. Dieser Theil der Trochlea wird auch in extremster Streckung nie von dem *processus coronoides* berührt. — Der vordere und untere Theil der Trochlea dagegen, welcher neben der *eminentia capitata* gelegen ist, zeigt den äusseren Seitenstreifen sehr flach und niedriger als den inneren Seitenstreifen desselben Trochleatheiles, so dass die Trochlea hinten nach aussen höher ist, vornen aber nach innen. In der Beugung erreicht das Olekranon auch diesen Theil der Trochlea und der gewölbte äussere Streifen des Olekranon liegt dann vollständig frei; in dieser Lage ist aber dagegen, wie vorher gezeigt wurde, der innere Seitenstreifen des Olekranon in Berührung mit der Trochlea, so dass in Bezug auf das Olekranon die eigenthümliche Thatsache sich herausstellt, dass in jeder Stellung der mittlere Streifen mit der Trochlea in Berührung ist und in der Streckstellung ausserdem der äussere Streifen, so wie in der Beugestellung der innere Streifen; — zwischen den beiden letztgenannten Anlehnungen ist jedoch ein allmäliger Uebergang wahrzunehmen, indem in einer mittleren Stellung nach beiden Seiten hin eine unvollständige Anlehnung nach beiden Seiten hin gefunden wird, welche dadurch entsteht, dass die innere Anlehnung schon begonnen hat, ehe die äussere vollständig aufgehört hat. — Eine interessante Uebergangsstelle zwischen den beiden Gestaltungen des äusseren Streifens der Trochlea findet sich in der Gegend des hinteren Endes der *eminentia capitata*. Die ebene Fläche der vorderen Abtheilung des äusseren Seitenstreifens erhebt sich hier nämlich ziemlich rasch zu der Höhe des hoch aufstehenden freien Randes der hinteren Abtheilung des äusseren Seitenstreifens. Diese Stelle, welche selbstverständlich eine dreieckige Gestalt haben muss, stösst in der Streckstellung mit der früher erwähnten entsprechend gestalteten Stelle des *processus coronoides* zusammen und wird eine Hemmung für Ueberstreckung. Die betreffende Stelle des *processus coronoides* muss demnach, da sie sich in der Richtung nach hinten allmälig von der Ellenbogenaxe entfernt, in der Beugestellung ausser Berührung mit der Trochlea sein.

Anm. Vgl. l. 8.

Die Eigenthümlichkeit des Gelenkes zwischen Ulna und Humerus besteht also darin, dass der grössere mittlere Theil beider Gelenkflächen zwar einen regelrechten Ginglymus mit Schraubencharakter darstellt, dass aber

1) in der diesem Theile entsprechenden Abtheilung der Gelenkfläche der Ulna eine Kontinuitätsunterbrechung durch die rauhe Querrinne gegeben ist, — dass

2) der innere Seitentheil des Olekranon in der Streckung an der Trochlea nicht anliegt, dagegen in der Beugung, — dass
3) der äussere Seitentheil des Olekranon in der Streckung an der Trochlea anliegt, dagegen nicht in der Beugung, — dass
4) der innere Seitentheil des *processus coronoides* nur in der mittleren Stellung an der Trochlea vollständig anliegt, und den Rand derselben um so mehr überragt, je weiter die Ulna sich von der mittleren Stellung entfernt, — und dass endlich
5) in dem äusseren Rande der Trochlea eine Hemmungsfläche für den *processus coronoides* sich findet, dessen entsprechende Berührungsfläche in jeder anderen als der extremen Streckstellung ausser Berührung mit der Trochlea ist.

Alle diese Verhältnisse, welche den Hauptcharakter des Gelenkes nicht stören, geben aber, wenn man die Bewegungen der Ulna auf dem Humerus ausführt, ein fast verwirrendes Bild von wechselndem Anschluss und Abheben und von Zusammenfallen der Ränder und Ueberragen derselben, so dass eine Gesetzmässigkeit in diesen Verhältnissen gar nicht zu walten scheint, — und nur eine genaue und aufmerksame Beobachtung lässt die oben dargestellten Gesetze erkennen. Es ist deshalb auch sehr zu empfehlen, die oben gegebene Beschreibung dieser Verhältnisse zum richtigen Verständniss sogleich mit dem Präparate zu vergleichen; die Verhältnisse werden dann auch einfacher erscheinen, als die nothwendiger Weise etwas ausführlichere Beschreibung es voraussetzen lässt.

F. Die Artikulation des Radius.

Eine auf den ersten Anblick sehr auffallende Erscheinung an dem Ellenbogenende des Humerus ist die Anordnung der *eminentia capitata*, welche als Bahn für den Radius, zugleich dessen Rotation gestattend, neben der Trochlea gelegen ist. Dieselbe ist nämlich nach der Grösse ihrer in der Flexionsebene gelegenen Peripherie gemessen, bedeutend kürzer als die Trochlea und macht deswegen den Eindruck, als ob sie nicht genügend sei. Allerdings ist es nun zwar der Fall, dass in der extremen Streckstellung nur noch die Hälfte etwa der *cavitas glenoides radii* auf der *eminentia capitata* steht; dieses ist indessen mehr die Folge von einer Verschmälerung des hinteren Theiles der *eminentia capitata* als von zu geringer Länge derselben. — Die erwähnte Beschaffenheit der *eminentia capitata* erklärt sich übrigens in befriedigender Weise, wenn man das Verhältniss des Radius zur Ulna genauer untersucht. Man findet dann nämlich, dass der Radius nur dem *processus coronoides* angeschlossen ist, d. h. demjenigen Theile der Gelenkfläche der Ulna, welcher vor der rauhen Querrinne gelegen ist. Seine Bahn braucht daher auch nicht

länger zu sein als derjenige Theil der Trochlea, welcher von dem *processus coronoides* bestrichen wird; das hintere Ende dieses Theiles ist aber hinlänglich bezeichnet durch die besprochene Hemmungsfläche an dem äusseren Rande der Trochlea; — und gerade an der äusseren Seite von dieser befindet sich das hintere Ende der *eminentia capitata*. Die genügende Länge derselben ist also damit hinlänglich erwiesen. — Man findet aber auch ferner, dass das *capitulum radii* nicht nur aussen, sondern auch etwas nach vornen an den *processus coronoides* angefügt ist und damit ergibt es sich auch wieder von selbst, dass die angegebene Länge der *eminentia capitata* jedenfalls für die flexorische Exkursion des Radius genügend sein muss. Dieser Umstand erklärt aber auch zugleich die sehr vollendete Ausbildung der *eminentia capitata* an der vorderen Seite des Humerus; und ist zugleich eine interessante Hinweisung auf das Verhältniss bei vielen Quadrupeden, bei welchen die Ulna, in ihrer Bedeutung sonst noch sehr abgeschwächt, ganz nach hinten gedrängt erscheint.

Ist nun schon durch diese Thatsachen die vollendetere Ausbildung der *eminentia capitata* nach vornen und ihre Längenausdehnung genügend motivirt, so findet man noch weitere Erklärung für das Verhalten derselben und dabei auch für ihre Verschmälerung nach hinten in der Gestaltung der *fovea glenoides* des Radius.

Von oben gesehen ist die obere Fläche des Radiusköpfchens drehrund. Dieses ist nicht im Widerspruch mit der früheren Mittheilung, dass die Gestalt des Radiusköpfchens eine im Querschnitt ovale sei. Die Gestalt der oberen Fläche ist nämlich drehrund und die ovale Gestalt ist in der Mitte der Höhe der *circumferentia articularis* dadurch gegeben, dass derjenige Theil der letzteren, welcher nicht unmittelbar für die Artikulation mit der Ulna verwendet ist, ausgebaucht erscheint. Derjenige Theil der *circumferentia*, welcher in der mittleren Stellung des Radius der *incisura semilunaris minor ulnae* anliegt (ungefähr $1/3$ des ganzen Umfanges) ist höher (breiter) und ohne Ausbauchung, sogar häufig leicht konkav. Der Kürze wegen sei dieser letztere Theil der *circumferentia* als Gelenktheil derselben bezeichnet.

In der oberen Fläche des *capitulum radii* erkennt man eine deutliche Scheidung in zwei verschiedene Flächen. Man sieht nämlich eine kreisrunde vertiefte Fläche (die eigentliche *fovea glenoides*) in jener oberen Fläche excentrisch gelegen, so dass an einer Stelle ihre Peripherie mit der Peripherie der oberen Fläche des *capitulum* zusammenfällt. Zwischen den beiden Peripherien bleibt dann eine ebnere halbmondförmige Fläche, deren grösste Breite gerade über der Mitte des Gelenktheiles der *circumferentia* sich befindet. In einem Durchmesser der oberen Fläche des *capitulum*, welcher von dem Punkte der Peripherie ausgeht, der der Mitte des Gelenktheiles der *circumferentia* entspricht, müssen demnach

die beiden Mittelpunkte gelegen sein, nämlich der Mittelpunkt der oberen Fläche überhaupt und der Mittelpunkt der *fovea glenoides*.

Diese beiden Flächen haben eine verschiedene mechanische Bedeutung. Als eigentliche Rotationsfläche kann nur die *fovea glenoides* angesehen werden, indessen zeigt es sich doch, dass der Axenpunkt für diese Rotation nicht der Mittelpunkt der *fovea* ist, sondern der Mittelpunkt der ganzen oberen Fläche, so dass also die *fovea* eine excentrische Bewegung zeigt. Die halbmondförmige Fläche vertritt mehr den Ginglymuscharakter des Gelenkes zwischen Radius und Humerus. — Dieser Eintheilung an der Fläche des Radius entspricht eine ähnliche Eintheilung an der *eminentia capitata*. Ein längs dem äusseren Rande der Trochlea gelegener Streifen derselben dient dem Gleiten der halbmondförmigen Fläche an dem *capitulum radii*; indessen kann die Berührung nur eine linienförmige sein, weil die halbmondförmige Fläche eben ist und die *eminentia capitata* gewölbt; seitliches Ausweichen gegen die Trochlea hin wird dadurch gehemmt, dass der Rand der Trochlea als eine kleine Leiste vorspringt, und daher der freie Rand der halbmondförmigen Fläche in einer Rinne als Führungslinie geleitet wird. Auf dem übrigen Theile der *eminentia capitata* gleitet die *fovea glenoides* und kann auf demselben seine Drehbewegungen ausführen, für welche die ebene Gestalt der halbmondförmigen Fläche kein Hinderniss bietet. Freilich muss dabei in den supinatorischen und den pronatorischen Stellungen ein schmalerer Abschnitt der halbmondförmigen Fläche in die Rinne neben der Trochlea zu liegen kommen und die Anschlüsse an die *eminentia capitata* können deswegen in diesen Stellungen nicht genau sein.

Ausser dieser Ungenauigkeit findet sich noch eine beträchtlichere, welche darin besteht, dass der äussere Streifen der *eminentia capitata* von der *fovea glenoides* nicht berührt, aber überragt wird; und dass in der extremen Streckstellung sogar fast die Hälfte der oberen Fläche des *capitulum radii* die *eminentia capitata* nach hinten überragt und nicht in Berührung mit derselben ist.

Von weniger Bedeutung sind kleinere Ungenauigkeiten in der Anpassung der *fovea glenoides* an die *eminentia capitata*, welche dadurch bedingt ist, dass die letztere nicht eine wirkliche Kugel ist, sondern dieselbe leicht ansteigende Schraubenrichtung wie die Trochlea zeigt; — und dadurch, dass der vorderste und der hinterste Theil der *eminentia capitata* einen kleineren Krümmungshalbmesser in der Projektion auf die Flexionsebene zeigt. Letzteres Verhältniss ist wohl dadurch bedingt, dass die Hemmung durch das *ligamentum laterale externum* an diesen Stellen den Radius stärker andrückt.

Im Allgemeinen zeigt sich also auch in den Artikulationsbeziehungen des Radius zu dem Humerus derselbe ungenaue Charakter, welcher in

Früherem schon in den Beziehungen des Radius zu der Ulna erkannt wurde, ohne dass indessen dadurch eine Unsicherheit in den Bewegungen in die Erscheinung träte.

Anm.: Vgl. I. 8.

G. Die Lage des Ellenbogengelenkes.

Mit einigen Worten sei nun noch der Frage gedacht über die Lage des Ellenbogengelenkes in der ruhigen aufrechten Stellung. Es liegt nahe, diese so zu bestimmen, dass man die Ellenbogenaxe beider Seiten in derselben geraden Linie liegen lässt, indessen ist diese Bestimmung nicht ganz zusagend und möchte nur unter aussergewöhnlichen Bedingungen, z. B. bei sehr starkem Zurücklegen der Schultern einmal wirklich gefunden werden.

Irgend eine andere Bestimmung zu geben, welche Anspruch auf allgemeinere Gültigkeit hätte, ist aber nicht wohl möglich, weil die Lage der Ellenbogenaxe bestimmt wird durch die Lage des Humeruskopfes, und diese, abgesehen von Willkürlichkeiten in der Haltung im Schultergelenke, wieder abhängig ist von der Lage des Schulterblattes, welche, wie in Früherem gezeigt wurde, eine sehr verschiedene ist. — Formulirt man die Lage des Schulterblattes so, dass die Axen der *pars acromialis* beider Schlüsselbeine in dieselbe gerade Linie fallen, so stellt sich die Ellenbogenaxe in einen nach vornen offenen Winkel von c. 80° gegen die Mittelebene des Körpers[1]. — Da nun aber die bezeichnete Lage der Schlüsselbeine schon auf eine mehr als gewöhnliche Zurücklehnung der Schultern hinweist, so dürfte der mittlere Winkel der Ellenbogenaxe gegen die Mittelebene des Körpers niedriger als 80° zu stellen sein.

3. Das Handgelenk.

In dem Handgelenke sind zwei Elemente unter Zwischenschaltung eines Meniskus mit einander verbunden.

Jedes dieser beiden Elemente und ebenso der Meniskus ist aus einzelnen Theilen zusammengesetzt, welche von der Osteologie als einzelne »Knochen« besonders beschrieben werden. Für die Auffassung der mechanischen Verhältnisse des Handgelenkes ist es indessen nothwendig, diese einzelnen Theile in jene drei Gruppen zusammenzufassen, weil jede dieser Gruppen in der Hauptsache als ein einheitliches Ganze anzusehen ist, dessen innere Gliederung, mit einer Ausnahme in dem Meniskus, als von untergeordneterer Bedeutung erscheint.

1) Vgl. mein Lehrbuch der Anatomie. II. Aufl. S. 120.

Das **erste** dieser drei Glieder ist der **Unterarm**, von welchem indessen für das Handgelenk selbst (nicht für die Bewegungen der Hand) hier zunächst nur der Radius in Betracht kommt.

Das **zweite** Glied ist die **Hand im engeren Sinne**. Als solche ist aufzufassen der Komplex, welchen die vier Handwurzelknochen *os hamatum, os capitatum, os multangulum minus* und *os multangulum majus* mit den Metakarpusknochen und den mit diesen artikulirenden Fingern bilden. Für das Handgelenk kommt zunächst nur die Verbindung der genannten vier Handwurzelknochen mit den Metakarpusknochen in Betracht, welche ein in sich nur wenig bewegliches Ganze und damit eine mechanische Einheit bildet; wobei indessen allerdings die, für die vorliegende Untersuchung übrigens gleichgültige, grössere Beweglichkeit des Daumen-Metakarpusknochens zu berücksichtigen ist.

Der **Meniskus** wird gebildet durch die drei Handwurzelknochen *os triquetrum, os lunatum* und *os naviculare*, von welchen die beiden ersteren als eine Einheit angesehen werden können, während das *os naviculare* in freierer Beweglichkeit eine gewisse Selbstständigkeit besitzt. — Das auf der Volarseite des *os triquetrum* sitzende *os pisiforme*, welches gewöhnlich mit zu dieser Reihe (erste Reihe der Handwurzelknochen *aut.*) gerechnet wird, gehört nicht zu dem Meniskus und ist überhaupt bei der Bildung des Handgelenkes unbetheiligt, indem es nur ein Sehnenknochen des *m. flexor carpi ulnaris* ist.

Es würde eine unnöthige Wiederholung theils bekannter, theils unwichtiger Thatsachen sein, wenn die Art, wie die erwähnten Knochenkombinationen zu Stande kommen, weitläufiger ausgeführt werden sollten, es genüge daher folgende Punkte kurz zu erwähnen:

Die Theile, welche die **Hand** im engeren Sinne zusammensetzen, sind durch die zahlreichen kurzen und straffen *ligamenta volaria* und *dorsalia* unter einander vereinigt, zu welchen als Ergänzung noch *ligamenta interossea* kommen. — Bemerkenswerth in Bezug auf diese Bänder ist es nur, dass von der Basis des Mittelhandknochens des Mittelfingers nach der radialen und nach der ulnaren Seite hin starke Bandmassen gehen, welche mit Ueberspringung des nächsten Mittelhandknochens direkt zu dem Mittelhandknochen des kleinen Fingers und an der radialen Seite zu dem *os multangulum majus* hingehen. Durch diese Bänder wird der **Gewölbecharakter** der Handwurzel deutlich ausgesprochen.

Die drei Theile des **Meniskus** sind unter einander ebenfalls durch kurze und straffe *ligamenta dorsalia* und *volaria* verbunden, zu welchen noch *ligamenta interossea* kommen, welche auf der dem Unterarm zugewendeten Seite den Raum zwischen den einzelnen Knochen so ausfüllen, dass eine Gelenkspalte zwischen diesen hier nicht sichtbar ist. — Die Gelenkfläche, welche der Meniskus dem Unterarme zuwendet, erscheint

dadurch als ein Kontinuum, gebildet durch die drei betreffenden Gelenkflächen der Knochen und zwei zwischenliegende weiche Massen, welche aus den mit Synovialhaut überzogenen dünnen *ligamenta interossea* bestehen.

Die Gelenkfläche, welche der Unterarm dem Meniskus bietet, ist die grosse Gelenkfläche an dem unteren Ende des Radius und deren Fortsetzung als sogenannte *cartilago triangularis*. Wie bereits in dem letzten Abschnitte angedeutet worden, hat man sich diese *cartilago triangularis* nicht etwa als eine Knorpelplatte vorzustellen, welche eine unmittelbare Fortsetzung des Gelenkknorpels des Radius ist und dann mit einem Bändchen (*ligamentum subcruentum*) an den *processus styloides ulnae* angeheftet ist. — Diese Platte wird vielmehr gebildet durch zwei *cartilagines semilunares* nach Art derjenigen in dem Kniegelenk, also durch zwei feste Faserstränge. Der eine von diesen geht von der dorsalen Ecke der *incisura semilunaris radii* aus und der andere von der volaren Ecke derselben. Beide setzen sich vereinigt an den *processus styloides ulnae* an und gehen auch theilweise bogenförmig in einander über. Nicht selten sind diese beiden Bänder als solche einzeln erkennbar, in der Regel aber wird der Zwischenraum zwischen ihnen und dem nicht durch ihren Ursprung in Anspruch genommenen Theil der *incisura semilunaris radii* ausgefüllt durch eine Fortsetzung der mehr homogenen Substanz, welche die freie Oberfläche dieser Faserknorpelstreifen bildet. Die *cartilago triangularis* erscheint deshalb manchmal als eine durchlöcherte Platte, in der Regel aber als eine vollständige. — Mag sie nun aber das eine oder das andere Aussehen bieten, auf jeden Fall hat sie den Charakter eines Meniskus, welcher zwischen Ulna und der Handwurzel eingeschaltet ist, und welcher, wie dieses bei einem Meniskus so häufig der Fall ist, scheidend auftritt zwischen zwei verschiedenen Arten der Bewegung und hier insbesondere zwischen der rotatorischen einerseits und den flexorischen andererseits.

A. Das os lunatum.

Das einfachste und übersichtlichste Bild von dem Mechanismus des Handgelenkes erhält man, wenn man die Grundform der Bewegung in den beiden hier in Rede kommenden Gelenken dadurch aufstellt, dass man die einfachsten massgebenden Verhältnisse allein berücksichtigt. Dieses ist aber deswegen sehr leicht möglich, weil in den Beziehungen des *os lunatum* der Charakter beider Gelenke sich in aller Schärfe ausgesprochen findet.

Die konkave, der Hand zugewendete Seite des *os lunatum* trägt eine sehr stark vorspringende Führungslinie, welche in die Rinne

zwischen dem Kopfe des *os capitatum* und dem *os hamatum* passt, so dass das *os lunatum* mit diesen beiden Knochen artikulirt. Man überzeugt sich leicht, dass diese Artikulation, welche ihrer scharfen Ausbildung wegen für das ganze Gelenk zwischen Meniskus und Hand massgebend werden muss, ein Ginglymus ist, welcher volare und dorsale Beugebewegungen gestattet. — Genauere Untersuchung belehrt darüber, dass auch in diesem Ginglymus der Schraubencharakter zu erkennen ist. Die Führungslinie gehört nämlich einem Schraubengange an, welcher bei c. 13 Millimeter Spindeldurchmesser eine Steigung von c. 3 Mm. für den Umgang besitzt[1]).

Die konvexe, dem Radius zugewendete Fläche des *os lunatum* erscheint dagegen nach zwei Seiten hin gewölbt, und wenn sie auch nicht ohne Weiteres als Kugelfläche oder Arthrodiefläche zu erkennen ist, so sieht man doch sogleich, dass sie Beugebewegungen in zwei senkrecht sich kreuzenden Ebenen gestattet und dass sie auch die Möglichkeit von Drehbewegungen nicht ausschliessen würde. Da nun aber Drehbewegungen in dem Handgelenke erfahrungsgemäss nicht vorkommen, so können für die Beurtheilung des Gelenkcharakters nur die Beugebewegungen in Rücksicht kommen; und es ist deshalb das Gelenk zwischen *os lunatum* und Radius als ein zweiaxiges Gelenk, von der Art des eiförmigen Ginglymus zu bezeichnen.

Es ist hieraus leicht zu erkennen, dass die Volar- und Dorsalflexion in beiden Gelenken möglich ist, — die Ulnar- und Radialflexion dagegen nur in dem ersten Handwurzelgelenk (zwischen Radius und Meniskus).

B. Artikulation zwischen Hand und Meniskus.

Das so eben gewonnene Bild gibt die Grundzüge des Handwurzelmechanismus sehr getreu; aber durch die Theilnahme des *os triquetrum* und des *os naviculare* an der Bildung des Meniskus werden an diesem Bilde verschiedene Modifikationen geschaffen, welche noch zu untersuchen sind.

Derjenige Punkt, welcher die wichtigsten Modifikationen bedingt, ist die Gliederung des Meniskus. Von den beiden als seitliche Glieder desselben auftretenden Knochen ist das *os triquetrum* so genau mit dem *os lunatum* verbunden, dass beide ohne einen Fehler als ein Einheitliches angesehen werden können. Das *os naviculare* dagegen hat dem *os lunatum* gegenüber eine so lose Verbindung und hat in Bezug auf seine Beweglichkeit solche Eigenthümlichkeiten, dass es für sich allein dasteht. — Der Meniskus besteht daher aus zwei Elementen,

1) Vgl. I. 9. S. 660.

welche verschiedenen Gesetzen gehorchen und sich dabei gegenseitig beeinflussen.

Das Element Lunatum-Triquetrum ist der Hand gegenüber der konkave Theil eines Ginglymus, zu welchem die Kapitatum-Hamatum-Rinne und das *os hamatum* den konvexen Theil darstellen.

Das Element Navikulare ist ein solider Kegel, welcher 1) in seiner Mantelfläche den konvexen Theil eines Ginglymus trägt, zu welchem die beiden Multangula den konkaven Theil besitzen, — welcher 2) mit konkaver Basis auf der gewölbten radialen Seitenfläche des *capitulum ossis capitati* eine Drehbewegung ausführt, — und welcher 3) mit einer Verlängerung seines Basisrandes die dem Unterarm zugewendete Seite des *capitulum* umgreift und als konkave Ginglymusfläche dieser letzteren gegenüber sich verhält. — Der Rand dieser Verlängerung steht dann mit der radialen Seitenfläche des Lunatum in Verbindung. — Die beiden letzten Theile des Navikulare können auch als eine sehr tief ausgehöhlte Basis des Kegels angesehen werden, welche sich um das *capitulum* als um eine Angel bewegt. — Die Unterscheidung eines Randfortsatzes der Basis gewährt aber doch einen gewissen Vortheil, weil dieser Fortsatz es ist, welcher auf seiner konvexen Seite die Gelenkfläche gegen den Radius trägt. — Insofern, als an das ulnare Ende dieses Fortsatzes das Lunatum und Triquetrum sich so unmittelbar anreihen, dass die konkave Fläche des Fortsatzes sich in deren konkave Fläche fortsetzt, könnte man das Lunatum und Triquetrum als eine gegliederte Weiterführung des Fortsatzes ansehen; — und man würde für eine solche Auffassung noch eine Unterstützung darin finden können, dass auch die konvexe Fläche des Fortsatzes sich unmittelbar an die konvexe Fläche des Lunatum und Triquetrum anreiht und mit dieser zusammen die Gelenkfläche des Meniskus gegen den Radius bildet.

Einer solchen Auffassung steht aber als sehr wichtiges Hinderniss ein Umstand entgegen, welcher zugleich Ursache für die wichtigste Modifikation des oben gegebenen einfachen Bildes der beiden Artikulationen des Meniskus wird. Die beiden Elemente des Meniskus besitzen nämlich nicht dieselbe Axe und noch dazu sind die Axen beider Elemente in einem nach der Volarseite hin offenen Winkel von c. 130° gegen einander gestellt.

Die Axe des Elementes Lunatum-Triquetrum liegt in dem *capitulum* des *os capitatum* und in dem *os hamatum*; sie beginnt in dem Mittelpunkte der radialen Seitenfläche des *capitulum*, — durchschreitet die Verbindung des *os capitatum* mit dem *os hamatum* in senkrechter Richtung zu der Verbindungsebene und verlässt das *os hamatum* ungefähr in der Mitte der dem *os triquetrum* zugewendeten Gelenkfläche.

Die Axe des Elementes Navikulare geht aus der radialen Spitze (*tuberositas*) des *os naviculare* in die Mitte der an der radialen Seite des *capitulum* des *os capitatum* anliegenden Fläche und trifft hier mit der Axe des anderen Elementes in dem oben bezeichneten Winkel von c. 130° zusammen.

Die Ebene, in welcher diese beiden Axen liegen, durchschneidet die Axe des Armes ungefähr senkrecht. Legt man nun durch beide Axen zwei senkrecht sie durchschneidende gleich grosse runde Ebenen von etwa 10 Millimeter Halbmesser, eine durch jede Axe, so kann man diese Ebenen so gegen einander stellen, dass sie sich in einem Peripheriepunkte berühren müssen. Dass dieser Punkt in jener durch beide Axen gelegten Ebene auf der volaren Seite gelegen sein muss, ist selbstverständlich; — die grösste Entfernung der beiden runden Ebenen von einander muss jenem Punkte diametral gegenüber auf der dorsalen Seite sein — und eine mittlere Entfernung wird sich zwischen beiden auf der Seite gegen den Radius hin zeigen.

Mit den Peripherien dieser beiden Kreise ist der Weg bezeichnet, welchen in den Bewegungen um die beiden Axen die einander zugewendeten Flächen des *os naviculare* und des *os lunatum* durchlaufen. Dieselben müssen demnach, wenn sie gegen die volare Seite hin bewegt werden, sich einander nähern; dagegen aber sich von einander entfernen, wenn sie gegen die dorsale Seite hin bewegt werden. — Daher sind denn auch die einander zugewendeten schmalen halbmondförmigen Flächen des *os lunatum* und des *os naviculare* in der volaren Beugestellung fest auf einander gedrängt und in der dorsalen Beugestellung weit von einander abgezogen; in der mittleren (Streck-)Stellung der Hand haben sie eine mittlere Entfernung von einander.

Dieses Verhältniss wird massgebend für die gegenseitigen Beziehungen der beiden Elemente des Meniskus und in weiterer Folge auch für die Bewegungen der ganzen Hand.

Für die Volarflexion stellen sich diese Beziehungen im Ganzen einfach heraus. Wird dieselbe ausgeführt, so kommt sehr bald die genaue Berührung des *os naviculare* und des *os lunatum* zu Stande und es tritt dadurch eine Hemmung für weitere Bewegung ein; nur das *os lunatum* (mit dem *os triquetrum*) kann, da seine Führungslinie in der Flexionsebene der ganzen Hand gelegen ist, noch um ein Geringes weiter nach vornen rutschen, bis die durch das Aneinanderdrängen schlaffer gewordenen Bänder zwischen ihm und dem *os naviculare* wieder gespannt sind. — Die Volarflexion zwischen Meniskus und Hand im engeren Sinne kann deshalb eine bedeutendere Exkursion nicht zeigen, und die Volarflexion der Hand ist darum vorzugsweise auf das Gelenk zwischen Meniskus und Unterarm angewiesen. — Zu der zeitigen Hemmung der Bewegung

des *os naviculare* scheint übrigens auch noch ein Anstemmen desselben gegen die *ossa multangula* an deren volarem freien Rande etwas beizutragen.

Beträchtlicher und etwas verwickelter sind die Beziehungen beider Elemente des Meniskus in der Dorsalflexion. — Damit diese verstanden werden können, ist aber zuerst auf eine merkwürdige Thatsache aufmerksam zu machen, welche in der mittleren (Streck-)Stellung der Hand wahrgenommen wird. Untersucht man nämlich in dieser Stellung das Gelenk zwischen Meniskus und Hand im engeren Sinne, so findet man 1) dass fast die ganze konvexe Gelenkfläche des *os naviculare* mit den beiden *ossa multangula* nicht in Berührung steht, sondern durch eine weite klaffende Lücke von denselben getrennt ist, und — 2) dass das Gleiche der Fall ist in Bezug auf den grösseren hinteren und ulnaren Theil der Gelenkfläche des *os hamatum* und den entsprechenden gegenüberliegenden Theil der Gelenkfläche des *os triquetrum*. — Durch das letztere Verhältniss wird man darauf aufmerksam, dass nur ein kleiner dreieckiger Theil der Gelenkfläche des *os hamatum*, welcher zunächst an die Leiste anstösst, die die Rinne zwischen *os naviculare* und *os hamatum* begrenzt, mit dem *os triquetrum* in gleicher Weise artikulirt, wie das *os lunatum* gegen die Hand artikulirt. Dieser Theil ist auch in der Mittellage allein mit dem *os triquetrum* in Berührung. Der andere grössere Theil, welcher in der Mittellage nicht mit dem *os triquetrum* in Berührung ist, ist eine quergehende Rinne, deren Bedeutung für die Artikulation sogleich deutlich werden wird. — Bei der Ueberführung aus der Mittelstellung in die dorsale Beugestellung bewegen sich zuerst die beiden Elemente des Meniskus um ihre Axen, bis an jenen klaffenden Stellen Berührung eintritt[1], — bis also die konvexe Gelenkfläche des *os naviculare* mit den *ossa multangula* in Berührung tritt und der freiliegende Theil der Gelenkfläche des *os triquetrum* mit der entsprechenden Fläche an dem *os hamatum*. — In diesem Augenblicke tritt aus doppelter Ursache ein momentaner Stillstand ein, — für's Erste nämlich gehört jene Fläche auf dem *os hamatum* nicht zum Ginglymus-Systeme des *os lunatum* und wirkt deswegen als Hemmungsfläche, — und für's Zweite ist in dem bezeichneten Augenblicke die grösste Bänderspannung zwischen den beiden Meniskus-Elementen, also zunächst zwischen *os naviculare* und *os lunatum* erreicht, so dass eine weitere Entfernung derselben von einander nicht mehr möglich ist, somit auch nicht eine Bewegung, welche nothwendig mit einer solchen verbunden wäre. — Trotzdem wird aber die Bewegung in dem

1) Es wird hierbei, wie schon vorher bei der Volarflexion die Hand als ruhend, der Meniskus als bewegt gedacht, weil sich die Bewegungen auf diese Weise leichter übersehen lassen.

dorsal-flexorischen Sinne noch weiter fortgesetzt, und zwar ist dieses in folgender Art möglich: Aus dem so eben Angegebenen ist ersichtlich, dass wegen Berührung der bezeichneten Hemmungsflächen das Element Lunatum-Triquetrum eine weitere dorsal-flexorische Bewegung nicht ausführen kann, — dagegen ist in dem Elemente Navikulare für sich eine weitere Bewegung nicht nur nicht gehemmt, sondern kann sogar, da dasselbe mit der Fläche der beiden *ossa multangula* jetzt erst in genauer Berührung ist, mit grösserer Sicherheit ausgeführt werden, weil zu der Anlehnung des *os naviculare* mit seiner hohlen Basis an das *capitulum ossis capitati*, welche bis dahin allein massgebend für die Bewegung war, nun auch noch die Anlehnung des Kegelmantels an die ihm entsprechende Hohlfläche kommt. Wäre das *os naviculare* frei, so würde es die begonnene Bewegung ungehindert fortsetzen und die dem *os lunatum* zugewendete halbmondförmige Fläche würde sich dabei in querer Richtung noch mehr von dem *os lunatum* entfernen; — die Möglichkeit, die Bewegung trotz der Verbindung mit dem *os lunatum* fortzusetzen, ist nun für das *os naviculare* dadurch gegeben, dass das ganze Element Lunatum-Triquetrum in dieser queren Richtung mitgeschleift wird. Das *os triquetrum* wird dabei auf der oben bezeichneten Hemmungsfläche über das *os hamatum* nach der radialen Seite hin geschleift und diesem entsprechend ist jene Fläche an dem *os hamatum* eine in der angegebenen Richtung verlaufende seichte Rinne; — und gleichzeitig verschiebt sich das *os lunatum* mit dem *os triquetrum* radialwärts auf der dem Radius zugewendeten Seite des *capitulum ossis capitati*; die Leiste des *os lunatum* verlässt dabei natürlich die Rinne zwischen dem *capitulum* und dem *os hamatum* und über diese Rinne kommt die vertieftere Stelle zwischen *os lunatum* und *os triquetrum* zu stehen, in welcher sonst in der mittleren Stellung die Leiste des *os hamatum* gelegen ist; — deswegen erscheint denn auch an dieser Stelle eine durch die ganze Dicke der Handwurzel durchgehende Lücke.

So wird also für den zweiten Theil der Dorsalflexion zwischen Meniskus und Hand das *os naviculare* massgebend, während für den ersten Theil das *os lunatum* bestimmend für die Richtung gewesen war. Deswegen nimmt auch in diesem Gelenke, der Schieflage der Navikular-Axe entsprechend, die dorsal-flexorische Bewegung zuletzt noch einen Antheil von radial-flexorischem Charakter in sich auf.

In Bezug auf die Hemmung der Dorsalflexion ist auf das Folgende zu verweisen.

C. Artikulation zwischen Meniskus und Unterarm.

Bei dem Gelenke zwischen dem Meniskus und dem Unterarme behält die Scheidung der beiden Elemente des Meniskus keine Wichtigkeit; denn die drei Knochen desselben bilden gegen den Unterarm hin eine gemeinsame Gelenkfläche, welche als eiförmig bezeichet werden kann, wenn auch ihre Gestalt keine absolut festgestellte ist, weil sie, aus mehreren beweglich unter einander verbundenen Stücken bestehend, eine gewisse Wandelbarkeit besitzt.

Massgebend für diese Artikulation wird von Seiten des Unterarms nur der Radius, weil nur dieser eine bestimmt gezeichnete Gelenkfläche besitzt, während die *cartilago triangularis* als eine nachgiebige Fläche sich mehr nach anderen Flächen richtet, als dass sie massgebend werden könnte. — Von Seiten des Meniskus sind es die betreffenden Flächen des *os naviculare* und des *os lunatum*, welche als massgebend angesehen werden müssen; die Fläche, welche das *os triquetrum* gegen den Unterarm wendet, ist einerseits zu klein und andererseits zu charakterlos, als dass ihr eine andere Bedeutung zukommen könnte, als diejenige, eine Ergänzung für die Fläche des *os lunatum* zu sein; sie besitzt auch in der Regel nicht einmal einen ordentlichen Gelenkknorpel, sondern nur einen fibrosen Ueberzug und artikulirt mit der *cartilago triangularis*.

Im Allgemeinen lässt sich nun zwar von diesem Gelenke sagen, dass es den Charakter eines eiförmigen Ginglymus besitzt und deswegen die Flexionen nach den bekannten vier Hauptrichtungen gestattet; — aber in diese Auffassung muss doch noch eine wichtige Modifikation hineingelegt werden.

Untersucht man nämlich die hierher gehörige Gelenkfläche des Radius, so findet man in derselben eine mehr oder weniger vorspringende Leiste, welche man sogleich als Scheidegrenze erkennt zwischen zwei vertieften Flächen, die der Anlagerung des *os naviculare* und des *os lunatum* entsprechen; — dass diese Leiste die weiche Verbindungsstelle zwischen den beiden letztgenannten Knochen berühren muss, ist ohne Weiteres verständlich. — Nun findet man aber ferner, dass diese Leiste nicht in der Richtung der Dorsal-Volar-Flexionsebene liegt, sondern eine schiefe Richtung der Art besitzt, dass sie, von der volaren zur dorsalen Seite verfolgt, bedeutend gegen die ulnare Seite hin abweicht. — Dieser Umstand weist darauf hin, dass der Meniskus sich auf dem Radius in einem Schraubengange bewegt. — Ergänzende Weiterbildung dieses Ganges lässt denn auch erkennen, dass derselbe eine sehr beträchtliche Steigung besitzt, indem er bei einer Spindeldicke von c. 30 Mm. eine Steigung von c. 20 Mm. auf den Umgang besitzt. — Bei

der volaren Beugung muss demnach gleichzeitig eine Verschiebung der Hand nach der ulnaren Seite hin stattfinden und bei der dorsalen Beugung eine solche nach der radialen Seite hin.

Die Axe für diese Artikulation liegt so, dass sie von der Spitze des *processus styloides ulnae* durch das *os triquetrum*, das *os lunatum* und das *os naviculare* hindurch geht und letzteres an seiner Rückenfläche verlässt, ungefähr gerade an dem hinteren Endpunkte der kleinen Leiste, welche auf dem *os naviculare* die Trennung der beiden *ossa multangula* andeutet. — Die Folge dieser Anordnung der Axe ist, dass sowohl in der Volarflexion als in der Dorsalflexion der ulnare Rand der Hand eine grössere Exkursion macht als der radiale, und dass er dadurch eine Lage bekommt, in welcher er mehr gegen den Unterarm geneigt ist, als der radiale Rand. Diese Bewegungen sind analog denjenigen Bewegungen des Fusses, in welchen mit der Hebung der Fussspitze zugleich der Kleinzehenrand stärker gehoben wird, — oder mit Senkung der Fussspitze der Kleinzehenrand stärker gesenkt wird. — Diese Stellungsveränderung der Hand ist also in gleicher Weise, wie die oben erwähnte seitliche Verschiebung durch den Schraubengang, mit der Volar- und der Dorsalflexion verbunden.

Was nun die Volar- und Dorsalflexion in dem Gelenke zwischen Meniskus und Unterarm im Allgemeinen angeht, so ist die Volarflexion sehr ungehindert und ausgiebig und gewährt dadurch eine Kompensation für die geringe Ausgiebigkeit der Volarflexion zwischen dem Meniskus und der Hand. Wie oben gezeigt, findet aber das Meniskus-Element Navikulare bei der Vorlarflexion gegen die Hand eine frühere Hemmung als das Element Lunatum-Triquetrum; seine Bewegung gegen den Radius ist deshalb auch eine grössere als diejenige des letzteren Elementes, welches später erst seine Hemmung findet und deswegen bis zur Erreichung der volaren Beugestellung nur einen kleineren Weg auf dem Radius noch zu durchlaufen hat.

Die Dorsalflexion zwischen Hand und Meniskus ist, wie früher gezeigt, eine sehr ausgiebige. Sie findet aber eine Hemmung an einem starken volaren Bandapparat und wenn diese Hemmung zu Stande gekommen ist, wodurch Hand und Meniskus gegen einander festgestellt sind, so setzt die Dorsalflexion zwischen Meniskus und Unterarm die Bewegung fort. Uebrigens tritt auch hierfür sehr bald eine Hemmung ein und zwar durch denselben Bandapparat. Dieser ist nämlich ein mächtiger Apparat[1]), welcher von der volaren Fläche des *os capitatum* ausgehend sich theils an den Meniskus, theils über diesen hingespannt an den Radius und die Ulna ansetzt, und noch verstärkt wird durch

1) Vgl. mein Lehrbuch III. Aufl. S. 120.

Faserzüge, welche von dem Radius und der Ulna zu dem *os lunatum* hingehen. Die stärksten und typischen Bandfaserzüge in diesem Apparate sind:

1) die *ligamenta transversa binorum ordinum carpi*, ein *radiale* und ein *ulnare*, welche von dem *os capitatum* zum *os naviculare*, beziehungsweise dem *os triquetrum* gehen. — Diesen kommt zunächst die Hemmung der Dorsalflexion zwischen Hand und Meniskus zu;

2) die *ligamenta obliqua carpi*, ein *radiale* und ein *ulnare*. — Jedes derselben besteht aus zwei Theilen, von welchen der eine an dem *os capitatum*, der andere an dem *os lunatum* sich ansetzt, — den gemeinsamen Ursprung beider Theile findet man für das *radiale* in der Nähe des *processus styloides radii*, — für das *ulnare* an dem *processus styloides ulnae*. — Das *radiale* ist beträchtlich stärker als das *ulnare*. — Die mit dem *os capitatum* verbundenen Theile dieser Faserzüge hemmen theils durch Spannung die Dorsalflexion zwischen Meniskus und Hand, theils durch Seitendruck diejenige zwischen Meniskus und Unterarm. — Die mit dem *os lunatum* in Verbindung stehenden Züge hemmen im Vereine mit dem folgenden Bänderzuge nur die Dorsalflexion in dem Gelenke zwischen Meniskus und Unterarm;

3) das *ligamentum rectum*, ein breiter starker Bandstreifen, welcher ebenfalls auf der volaren Seite in ziemlich gerader Richtung, jedoch etwas nach der ulnaren Seite gewendet, von dem Radius zu dem *os lunatum* hingeht.

Dieser ganze Apparat, von welchem hier nur die typischen Hauptzüge angeführt sind, sichert in hohem Grade gegen die Uebertreibung der Dorsalflexion und gewährt dadurch auch die Möglichkeit einer festen Aufstützung auf die Hand. Dabei ist nicht zu übersehen, dass die Spannung dieser Bänder alle betheiligten Knochen auf einander drängen muss und dadurch aus Hand, Meniskus und Unterarm eine ähnliche feste Kombination erzeugen muss, wie sie der belastete Fuss darbietet. Rechnet man nun noch dazu, dass durch die transversalen Bänderspannungen zwischen den Handwurzelknochen vorderer Reihe und zwischen den Mittelhandknochen eine sehr erkennbare quere Gewölbebildung in der Handwurzel gegeben ist, welche noch unterstützt wird durch das *ligamentum carpi volare commune*, — so erkennt man, dass die Hand doch mehr, als es auf den ersten Anblick erscheint, geeignet ist, stützend die Last des Körpers zu tragen.

Anm.: Vgl. I. 9.

D. Radiale und ulnare Flexion.

Neben der Volar- und der Dorsalflexion stehen als typische Bewegungen der Hand nach da: die radiale und die ulnare Flexion. Diese müssen indessen mehr dem Schema zu Liebe aufgestellt werden, als dass sie rein zu präcisiren wären. Sie sind Vereinigungen von den als Zwischenformen hingestellten Bewegungen, der dorsal-ulnaren, volar-ulnaren, dorsal-radialen und volar-radialen, und können daher auch nur im Verein mit diesen verstanden werden.

Die dorsal-ulnare Beugung kommt zu Stande durch Dorsalflexion zwischen dem Elemente Lunatum-Triquetrum des Meniskus und der Hand bis zur vollständigen Berührung des *os triquetrum* und des *os hamatum;* und sobald diese Hemmung eingetreten ist, tritt Dorsalflexion in dem Unterarm-Meniskus-Gelenke ein, wobei der Meniskus dem durch den Radius vorgeschriebenen Schraubengange folgt.

Bei der volar-ulnaren Beugung findet Flexion in beiden Gelenken statt, aber zugleich eine schräge Verschiebung des Meniskus nach der radialen Seite hin, wobei das *os lunatum* die Leiste an dem Radius quer überschreitet. — Hemmung wird das *os pisiforme* durch Anstossen an das *capitulum ulnae.*

Bei der reinen ulnaren Beugung findet man eine eigene Vereinigung der beiden eben beschriebenen Bewegungen, indem in derselben die Beugung zwischen Meniskus und Hand zu Stande kommt, wie in der volar-ulnaren Flexion und die rein ulnare Richtung dadurch hervorgebracht wird, dass die Beugung wieder aufgehoben wird durch eine dorsalflexorische Bewegung zwischen Meniskus und Unterarm, wie eine solche bei der dorsal-ulnaren Beugung zu Stande kömmt. — Hierdurch ist es typisch schön ausgedrückt, dass die reine ulnare Beugung nur dadurch entsteht, dass in den gleichzeitig ausgeführten dorsal- und volar-ulnaren Bewegungen die Elemente: »dorsal« und »volar« sich gegenseitig aufheben und die ulnaren Elemente allein in die Erscheinung treten.

Die dorsal-radiale Beugung hat eine Richtung, welche senkrecht zur Axe des *os naviculare* gestellt ist. Sie wird deshalb auch um diese ausgeführt, d. h. vorzugsweise zwischen dem *os naviculare* und den *ossa multangula* unter Drehbewegung des *os naviculare* an dem *capitulum ossis capitati.* Bei stärkerer Ausführung ist auch noch das Gelenk zwischen Radius und Meniskus betheiligt, in welchem dann in schräger Richtung eine Verschiebung so stattfindet, dass das *os naviculare* die Leiste an dem Radius quer überschreitet, — wie dieses in umgekehrter Richtung auch bei der volar-ulnaren Beugung durch das *os lunatum* geschieht.

Bei der volar-radialen Beugung, welche von allen die geringste Ausgiebigkeit besitzt, geht die Richtung unter einem so kleinen Winkel gegen die Axe des *os naviculare*, dass auch die verhältnissmässig kleine Bewegung zwischen den *os naviculare* und den *ossa multangula* nicht zu Stande kommen kann, und es geschieht daher nur eine entsprechende Flexion zwischen dem Meniskus und dem Radius, wobei die Leiste auf dem Radius führend wird. Sehr bald muss aber auch diese Bewegung aufhören, weil die *tuberositas ossis navicularis* an den *processus styloides radii* hemmend anstösst.

Bei der rein radialen Beugung findet sich das ähnliche Verhältniss, wie bei der rein ulnaren. Es verbindet sich nämlich eine Streckbewegung und eine Beugebewegung um die rein radiale Stellung herbeizuführen, aber die Streckbewegung findet hier zwischen dem *os naviculare* und den *ossa multangula* statt und die Beugebewegung zwischen dem Meniskus und dem Radius. — Die rein radiale Beugung ist daher eine volar-radiale, in welcher das volare Element durch eine dorsale Beugebewegung aufgehoben ist.

Es würde möglich sein, auch die rein volaren und die rein dorsalen Bewegungen auf eine Vereinigung je zweier »gemischter« Bewegungen zurückzuführen. Es ist in dieser Beziehung nur daran zu erinnern, dass bei der dorsal-radialen Bewegung in dem Gelenke zwischen Hand und Meniskus nur das Element Navikulare betheiligt ist, — bei der dorsal-ulnaren in demselben Gelenke nur das Element Lunatum-Triquetrum, — und bei der rein dorsalen Bewegung beide Elemente gleichzeitig. — Aufforderung zu einer solchen Auffassung würde noch besonders in dem Umstande liegen, dass diejenigen Muskeln, welche als *»flexores«*, beziehungsweise *»extensores« carpi* die Bewegungen der ganzen Hand zunächst zu vermitteln haben, bekanntlich sämmtlich im Sinne der »gemischten« Beugungen angebracht sind. — Andererseits ist aber auch nicht zu verkennen, dass die *»flexores«* und *»extensores«* der Finger wenigstens in zweiter Wirkung direkt auf eine volare, beziehungsweise dorsale Bewegung der ganzen Hand ihren Einfluss üben und somit also auch direkt wirkende Kräfte bei diesen beiden Arten der Bewegung mit in Rechnung zu bringen sind. — Ein Versuch der angedeuteten Art würde daher relativ werthlos sein.

E. Mittlere Stellung.

Die oben gegebenen Untersuchungen belehren zugleich darüber, welches als die mittlere Stellung der Hand angesehen werden muss. Bei der annähernd gleichen Winkelstellung, in welche die Vola und das Dorsum der Hand gegen den Unterarm gebracht werden können, wird

wird für's Erste einmal die gerade Streckstellung der Hand als mittlere Stellung in Bezug auf dorsale und volare Richtung hinzustellen sein; bei der, freilich nicht bedeutenden, grösseren Exkursionsmöglichkeit nach der volaren Seite hin, muss sich übrigens die als »mittlere« Stellung zu bezeichnende Streckstellung etwas der volaren Stellung zuneigen. — In Bezug auf ulnare und radiale Richtung muss die entschieden grössere Exkursionsmöglichkeit nach der ulnaren Seite hin in Rücksicht gezogen werden und dabei ist ferner, zum Theil als Erklärung für diese Erscheinung, zu beachten, dass die Unterarmgelenkfläche schief liegt, indem sich der *processus styloides radii* auf der radialen Seite sehr stark über die übrige Fläche erhebt, und dass die Axe für die Artikulation des Meniskus mit dieser Fläche noch schiefer liegt. Die mittlere Stellung der Hand in Bezug auf ulnare und radiale Richtung ist daher in dem Sinne zu bestimmen, dass in derselben die Hand eine vorherrschend ulnare Richtung besitzt, so etwa, dass der an die übrige Hand angeschlossene Daumen die unmittelbare Fortsetzung des radialen Randes des Unterarmes bezeichnet. — In der ulnaren Beugehaltung der Hand ist nun aber die Möglichkeit und Leichtigkeit der volaren Beugung viel bedeutender als diejenige der dorsalen Beugung, deshalb muss sich auch das vorher schon bezeichnete volare Element in der mittleren Stellung der Hand dabei noch entschiedener geltend machen.

Als mittlere Stellung der Hand gegen den Unterarm ist deshalb eine leichte volar-ulnare Beugestellung zu bezeichnen.

Die Frage nach der mittleren Stellung der Hand kann übrigens nicht allein deren Stellung gegen den Unterarm angehen, sondern muss auch noch die Rotationsstellung der Hand in Rücksicht ziehen, wenn auch diese nicht durch das Handgelenk, sondern durch die Stellung des Radius bestimmt wird.

Welches die mittlere Stellung des Radius sein muss, ist in dem vorigen Abschnitte bereits genügend besprochen und wenn dieser Gegenstand hier noch einmal in Kürze berührt wird, so ist dieses theils deswegen, weil es für die Charakterisirung der mittleren Stellung der Hand nothwendig ist, theils aber auch deswegen, weil dieselben Elemente, welche die mittlere Stellung der Hand gegen den Unterarm bestimmen, auch die mittlere Stellung des Radius bestimmen helfen.

Der Radius gehört, wie die Hand und die Finger zu denjenigen Theilen, von welchen bei einer früheren Gelegenheit schon gesagt wurde, dass ihre mittlere Stellung vorzugsweise von dem Gleichgewichte der Muskeln abhängig ist, weil die Schwere dabei keinen wesentlich bestimmenden Faktor abgeben kann.

Die typischen Rotatoren des Radius müssen die beiden von der Ulna zu ihm tretenden Muskeln: *m. supinator brevis* und *m. pronator quadratus*

sein. An diese reihen sich die beiden vom Oberarm zum Radius gehenden Muskeln: *m. supinator longus* und *m. pronator teres* an. — Diese beiden Muskeln sind die radialen Endglieder der beiden oberflächlichen Unterarmgruppen, deren übrige Elemente zur Hand und den Fingern gehen. Das ulnare Endglied beider Gruppen (*m. flexor* und *m. extensor carpi ulnaris*) kann einen Einfluss auf Bewegung des Radius nicht haben; dagegen müssen, weil sie die Drehaxe des Radius überschreiten, der *m. flexor carpi radialis*, der *m. palmaris longus* und der *m. flexor digitorum communis superficialis* eine pronatorische Nebenwirkung haben, — und die *m. extensores carpi radiales* und der *m. extensor digitorum communis* eine supinatorische. Unter dem Einflusse aller dieser Muskeln muss also die mittlere Stellung des Radius zu Stande kommen. — Nun ist aber bereits in dem vorigen Abschnitte gezeigt, dass von diesen Muskeln der *m. supinator longus* und der *m. extensor carpi radialis longus* direkt auf die mittlere Stellung des Radius hinwirken; unter den übrig bleibenden Muskeln herrscht aber entschieden das pronatorische Element vor. Die mittlere Stellung des Radius müsste demnach mehr in diesem Sinne sein und ist es auch, aber doch in beschränkterem Masse, als es nach Obigem zu erwarten ist, weil die vier Muskeln der tiefen dorsalen Unterarmgruppe, welche entschieden supinatorische Nebenwirkung haben, korrigirend auftreten.

Die mittlere Rotationsstellung der Hand ist also entsprechend der durch den Bau der Unterarmknochen bestimmten mittleren Stellung des Radius, jedoch mit Hinneigung zu der pronatorischen Haltung.

4. Die Finger.

Unter den bekannten fünf Einzelngliedern der Hand nimmt der Daumen den übrigen gegenüber eine so exceptionelle Stellung ein, dass er eine besondere Untersuchung für sich beansprucht.

Die übrigen vier Finger, welche als Finger im engeren Sinne dem Daumen gegenübergestellt werden können, sind unter einander im Wesentlichen gleich gebaut und sind theils jeder einzeln für sich verwendbar, theils können sie als ein einheitliches Ganze in Funktion treten.

Der einzelne Finger besteht aus vier Elementen, von welchen das eine, der Mittelhandknochen, sehr fest mit den Mittelhandknochen der anderen Finger und den Handwurzelknochen der vorderen Reihe verbunden ist. Die vier Mittelhandknochen bilden dadurch ein in sich geschlossenes Ganze, auf welchem dann die einzelnen Finger, jeder aus einer Reihe von drei Phalangen bestehend, frei beweglich eingelenkt

sind, so dass ein jeder für sich frei sich bewegen kann. Die Mittelhand ist zugleich die feste Basis, an welche die Finger eine Grundlage für gemeinsame Funktion finden.

Die Verbindung der drei Phalangen unter sich bietet keine besondere Erscheinung; denn sie sind unter einander durch Ginglymusgelenke mit Lateralbändern vereinigt und in jedem der beiden zu einem Finger gehörenden Gelenke ist nur eine Bewegung von c. 90° im Sinne der Volarflexion möglich. — Wenn in beiden Gelenken die stärkste Beugung erzielt ist, dann steht die Nagelphalanx der Grundphalanx parallel und die Mittelphalanx ist rechtwinkelig zu beiden gestellt. — Der Finger, so weit er durch die drei Phalangen gebildet wird, ist also ein sehr einfacher Apparat, der relativ steif und unbeholfen erscheint; dennoch aber findet derselbe eine sehr mannigfaltige Verwendung und diese gründet sich hauptsächlich auf seine Verbindung mit dem Metakarpusknochen und auf die Art dieser Verbindung.

Gegen den Mittelhandknochen hat der Finger ein volares Beugungsvermögen von ebenfalls ungefähr 90°. In der Streckstellung ist die Artikulation zwischen der Grundphalanx und dem *capitulum* des Metakarpusknochens ein freies Gelenk, in welchem übrigens die Rotation nicht in deutlich erkennbarer Weise in die Erscheinung tritt. In der Beugestellung ist dagegen die Grundphalanx unbeweglich festgestellt durch straffe Spannung der Lateralbänder. Beim Uebergang in die Beugestellung nehmen die möglichen seitlichen Bewegungen allmälig ab, die flexorischen bleiben zuletzt noch allein übrig und es erfolgt dann die Feststellung.

Die Vielseitigkeit in der Verwendungsmöglichkeit der Finger gründet sich nun darauf, dass in allen Stellungen des Fingers zu dem Metakarpusknochen, der Finger in sich gestreckt oder in sich gebeugt sein kann, wobei noch zu bemerken ist, dass eine gewisse Nothwendigkeit dafür da ist, dass die beiden Inter-Phalangal-Gelenke zugleich gebeugt werden.

Der Finger kann daher in einer in sich gestreckten Gestalt gegen den Metakarpusknochen gestreckt sein und alsdann auch Seitenbewegungen ausführen; — und kann dann ferner auch in die Beugestellung gebracht werden. — Diese Bewegungen des in sich gestreckten Fingers werden vorzugsweise für den Zweck des Tastens ausgeführt.

In jeder der möglichen Stellungen kann nun auch der Finger die hakenförmige Biegung durch mehr oder weniger Beugung seiner beiden Inter-Phalangal-Gelenke annehmen. In der Streckstellung gegen den Metakarpusknochen bildet der Finger dadurch einen Haken, welcher theils zum Tragen angehängter Gegenstände, theils zum Heran-

ziehen von Gegenständen benutzt werden kann; — und die Ebene, in welcher dieser Haken gekrümmt ist, kann durch die Seitenbewegungen in verschiedene Stellungen gebracht werden. — In den verschiedensten Beugestellungen des Metakarpo-Phalangal-Gelenkes kann der Finger dann dieselbe Hakengestalt zeigen und entsprechende Verwendung finden, nur nehmen mit zunehmender Beugestellung die Seitenbewegungen allmälig ab. — Ist aber die Beugebewegung so weit gediehen, dass die mittlere Phalanx sich dem Parallelismus mit dem Metakarpusknochen nähert oder denselben erreicht, dann gewinnt die Hakengestalt des Fingers plötzlich eine andere Bedeutung, indem die Näherung der Spitze der Nagelphalanx gegen den Metakarpusknochen zur Schliessung eines Ringes führt, als dessen viertes Schlussglied der Metakarpusknochen erscheint. In dieser Lage und Gestalt ist der Finger geeignet, Gegenstände zu umfassen und damit festzuhalten.

In Bezug auf die letztgenannte Gestalt des Fingers ist es interessant, sich davon zu überzeugen, in wie geeigneten Verhältnissen hierfür die gegenseitigen Grössen der Phalangen sind. Nimmt man die Maasse an den skeletirten Knochen an der Innenseite des Ringes, wobei also der Durchmesser der Rolle von der Länge abgeht, so findet man, dass die Nagelphalanx beinahe eben so gross ist, als die Mittelphalanx, die Grundphalanx aber ist um c. 10 Mm. grösser. Denkt man nun noch die Weichtheile hinzu, so wird durch den Hautüberzug ihres freien Endes die Nagelphalanx gerade so lang, wie die Mittelphalanx, und die grössere Länge der Grundphalanx wird dadurch wieder aufgehoben, dass eine grössere Masse von Weichtheilen auf der Volarseite des Metakarpus liegen. — Das Lichte des durch den Finger gebildeten Ringes ist demnach annähernd quadratisch, d. h. von modificirter Kreisgestalt.

Die Möglichkeit, die verschiedenen Gestalten und Stellungen anzunehmen, ist für den einzelnen Finger durch wenige und verhältnissmässig einfach organisirte Muskeln gegeben. Es ist auf der dorsalen Seite der *m. extensor digitorum communis*, auf der volaren Seite sind es die beiden *m. flexores digitorum communes*. Eine eigenthümliche Zwischenstellung haben die *m. interossei* und die *m. lumbricales*.

Eine sehr bemerkenswerthe Erscheinung ist es, dass die Grundphalanx eigentlich nicht unmittelbar von Muskeln angegriffen wird, die unvollständigen und, wie es scheint, sogar nicht konstanten Anheftungen der *m. interossei* abgerechnet, so dass also die Bewegung derselben der Hauptsache nach nur eine indirekte ist. — Die Mittelphalanx und die Nagelphalanx sind diejenigen Theile der Finger, deren Bewegungen vorzugsweise massgebend für die Gestalt und die Funktion der Finger sind. Vielleicht dürfen wir in diesem Umstande eine Ursache für die leichte

und feine Bewegung der Finger erblicken, indem dadurch beträchtlichere Kontraktionsgrössen der Muskeln dazu gehören, um eine kleinere Bewegung in den Metakarpo-Phalangal-Gelenken zu erzielen und daher diese Bewegungen um so feiner abgemessen werden können.

Die direkte Wirkung der Beuger bietet keine auffallenden Verhältnisse dar, indem dieselben die Basis der Phalanx nahe dem Gelenke angreifen und durch Hinziehen nach der volaren Seite die Beugung zu Stande bringen. — Die indirekte Wirkung kommt dadurch zu Stande, dass das durch die Sehne überschrittene Gelenk, welches nicht das direkt bewegte ist, durch eine dorsale Knickung dem Zuge auszuweichen sucht. Dass dabei nicht eine Abhebung der Sehne von dem Gelenke stattfindet, wird durch die *ligamenta annularia* verhindert, und nach geschehener indirekter Beugung liegt die Sehne in dem gebogenen Theile des Fingers als ein zu demselben koncentrischer Bogen von kleinerem Krümmungsradius, also von absolut geringerer Grösse. Berücksichtigt man dieses Verhältniss, so sieht man sogleich ein, wie es eine Nothwendigkeit ist, dass das Anziehen der Sehne eine indirekte Beugung hervorbringt, wobei der Seitendruck der Sehne auf das *ligamentum annulare* durch dieses noch als ein direkterer Zug auf die Phalanx wirken muss, an welche ja das *ligamentum annulare* theilweise angeheftet ist. — Direkter Zug kann auf die Nagelphalanx geübt werden durch den tiefen Fingerbeuger, und auf die Mittelphalanx durch den oberflächlichen Fingerbeuger; — ersterer muss dann noch eine indirekte Beugewirkung auf das Gelenk zwischen Grundphalanx und Mittelphalanx ausüben und beide eine solche auf das Metakarpo-Phalangal-Gelenk. — Es erklärt sich aus diesem Verhältnisse recht gut, dass es möglich ist, das erste Fingergelenk (zwischen Grundphalanx und Mittelphalanx) zu beugen, ohne dass das zweite Fingergelenk ebenfalls eine Beugung erfährt, — dass aber eine Beugung des Nagelgliedes für sich nicht pflegt ausgeführt zu werden, ohne dass gleichzeitig in dem ersten Fingergelenke eine Beugung eintritt. Nur einzelne Personen können dieses wohl als ein Kunststückchen zu Stande bringen, aber es gelingt nur mit so gewaltsamer Streckung des ersten Fingergliedes, dass dieses in eine leichte dorsal-flexorische Stellung geräth. — Auffallend ist es aber, dass nicht eben so leicht mit der Beugung der beiden Fingergelenke eine Beugung in dem Metakarpo-Phalangal-Gelenke eintritt, auf welches doch die beiden langen Fingerbeuger einen indirekt beugenden Einfluss ausüben. Vielleicht erklärt sich dieses durch die folgenden Umstände: die Einwirkung beider Muskeln auf das bezeichnete Gelenk ist nur eine indirekte oder sekundäre und kann erst eintreten, wenn die erste Wirkung in die Erscheinung getreten ist; dieser Grund allein kann es aber doch wohl nicht sein, denn wir sehen ja auch das erste Fingergelenk mit Regelmässigkeit an der Beugung des zweiten

Theil nehmen [1]; — es wird also doch wohl noch ein weiterer Grund für das Ausbleiben der Beugung des Metakarpo-Phalangal-Gelenkes zu suchen sein, und dieser dürfte wohl zu finden sein in der passiven Anspannung der Strecksehne, namentlich des an die Mittelphalanx gehefteten mittleren Zipfels. Man sieht wenigstens bei der hakenförmigen Beugung der Finger eine passive Anspannung dieser Sehne und kann sich leicht denken, dass diese genügend ist, durch Seitendruck auf die dorsale Seite des Metakarpo-Phalangal-Gelenkes, dessen indirekte Beugung so lange zu hindern, bis eine stärkere Wirkung der Beugemuskeln sie doch zu Stande bringt.

Die Wirkung des Fingerstreckers (*m. extensor digitorum communis*) ist abhängig von der Art, wie dessen Sehne sich auf dem Finger vertheilt. Um nicht zu lange bei bekannten Thatsachen zu verweilen, will ich nur in Kürze an die hier waltenden Verhältnisse erinnern. Eine Anheftung an die Grundphalanx findet nicht statt. Der mittlere Theil der Sehne setzt sich an die Mittelphalanx an und streckt direkt das erste Fingergelenk, sowie indirekt das Metakarpo-Phalangal-Gelenk; dieses letztere kann dadurch sogar in einen leichteren Grad von Dorsal-Flexion gebracht werden. — Die beiden seitlichen Theile der Strecksehne vereinigen sich mit den breiten Aponeurosen der *m. interossei* und des *m. lumbricalis* des betreffenden Fingers, überschreiten die seitliche Rückenfläche des ersten Fingergelenkes und setzen sich dann an die Basis der Nagelphalanx an. Die gebogene Richtung, welche diese beiden Sehnenstreifen besitzen, sind wohl Ursache dafür, dass sie den Zug des *m. extensor communis* nicht aufnehmen, so dass dieser nur mit Hülfe des mittleren Anheftungszipfels auf die Mittelphalanx wirken kann. Bekannt ist dagegen, dass diese Seitenstreifen dann eine extensorische Wirkung ausüben können, wenn sie durch die Thätigkeit der *m. interossei* und des *m. lumbricalis* angespannt sind; — sie wirken dann direkt streckend auf das Nagelglied und indirekt streckend (durch Seitendruck) auf das erste Fingergelenk, so dass sie den ganzen Finger in sich strecken. Bei stärkerer Wirkung der *m. interossei* wird das schlingenförmige Umgreifen der Grundphalanx durch die Aponeurosen dieser Muskeln noch Ursache für Beugung dieser Phalanx und somit des ganzen in sich gestreckten Fingers gegen den Metakarpus. Diese Beugung ist aber nicht die nothwendige Folge der Thätigkeit der *m. interossei*, denn deren Anordnung ist der Art, dass sie, wenn der Finger in dem Metakarpo-Phalangal-Gelenk und dem ersten Fingergelenke durch den *m. extensor communis* gestreckt gehalten wird, eine ergänzende Zugwirkung durch

1) Man könnte übrigens zur Erklärung hierfür eine angeübte Zusammenwirkung der beiden Fingerbeuger annehmen.

Hülfe der seitlichen Sehnenstreifen auf das Nagelglied und das erste Fingergelenk ausüben und auch in dieser Lage den ganzen Finger in sich strecken können.

Die adduktorische und abduktorische Bewegung der Finger und das Verhältniss der beiden Formen der *m. interossei* ist zu bekannt, als dass es gestattet sein könnte, diesen Gegenstand hier noch einmal zu besprechen. Das von mir angegebene Schema [1]), welches auch an verschiedenen Orten [2]) reproducirt worden ist, gibt hierüber eine einfache und leichte Uebersicht. — Es ist nur noch darauf aufmerksam zu machen, dass die fraglichen Bewegungen sowohl mit dem in sich gestreckten, als auch mit dem hakenförmig gebogenen Finger ausgeführt werden können; — in dem ersteren Falle muss durch den *m. extensor communis* die Beugewirkung der *m. interossei* aufgehoben sein, und in dem letzteren Falle durch die *m. flexores communes* die extendirende Wirkung.

Die einzelnen Finger sind in ihren Bewegungen in einer gewissen Unabhängigkeit von einander und können deshalb in der verschiedensten Art für denselben Zweck, z. B. des Ergreifens eines Gegenstandes zusammenwirken. Es wäre unmöglich, alle hierbei möglichen Kombinationen anzugeben und es würden dabei auch keine neuen Sätze zu gewinnen sein.

Dagegen gewährt es einiges Interesse, die Finger in ihrer Gesammtheit, wenn sie als ein einheitliches Ganze wirken, noch in Kürze zu berücksichtigen.

Die Vereinigung der vier Finger zur Bildung der ganzen Hand kommt durch Verbindung der Metakarpusknochen unter einander zu Stande. — Von diesen Verbindungen ist diejenige an der Basis eine festere, diejenige an den Köpfchen dagegen eine losere und beweglichere. Beide aber sind der Art, dass durch dieselbe eine Gewölbebildung in querer Richtung erzielt ist. In der Handwurzel ist diese Bildung leicht zu erkennen und in dem Früheren auch bereits berücksichtigt, und es erscheint als wichtig, dass der Metakarpusknochen des Zeigefingers sich durch einen nicht unbeträchtlichen Antheil seiner Basis mit dem *os multangulum majus* verbindet, welches die *eminentia carpi radialis* bilden hilft. Durch dieses Verhältniss wird der radiale Fusspunkt des Gewölbes in den Zeigefinger fortgesetzt, und die Verbindung des Daumens mit dem *os multangulum* seitwärts gestellt. Der Daumen ist dadurch individueller hingestellt und das Handgewölbe als eine gleichmässige Bildung von vier ähnlichen Elementen gezeichnet.

1) Lehrbuch. I. Aufl. S. 207.

2) z. B. HENLE, Muskellehre S. 230.

Vergleicht man nun diese vier Elemente, so findet man den Mittelfinger als das längste derselben; in der ringförmigen Schliessung bildet dieser deshalb auch den grössten Ring. — Zeigefinger und Ringfinger sind in der ganzen Länge einander ziemlich gleich, indessen ist doch ein nicht uninteressanter Unterschied zwischen beiden durch die Proportionen der Gliederung gegeben. Der Zeigefinger nämlich mit etwas längerem Metakarpusknochen und kürzeren Phalangen bildet einen engeren Ring als der Mittelfinger; dafür steht er aber auch an der radialen Seite des Mittelfingers allein, während an der ulnaren Seite an den Ringfinger sich noch der noch kleinere kleine Finger anreiht.

Die ganze Hand, so weit sie durch die vier Finger gebildet wird, besitzt demnach eine asymmetrisch fassförmige Gestalt in ihrer Schliessung. Die beiden Ränder, Zeigefinger- und Kleinfingerring werden deshalb auf einen umgriffenen Gegenstand am Festesten angedrückt. Der Kleinfingerring, als der engste, wird natürlich fester noch angedrückt, als der Zeigefingerring und dadurch wird anscheinend eine Ungleichmässigkeit des Anschlusses auf der radialen und der ulnaren Seite der Hand hervorgebracht. Dieser Unterschied ist aber nur scheinbar; denn der Metakarpusknochen des kleinen Fingers besitzt eine grössere Beweglichkeit als die anderen Metakarpusknochen und kann dadurch dem Drucke etwas ausweichen; er muss aber dagegen durch federnde Rückwirkung einen um so genaueren Anschluss hervorbringen. Andererseits findet die Schliessung des Zeigefingers eine Ergänzung durch das Umgreifen des Daumens; — und so stellt sich die Symmetrie des Anschlusses an beiden Rändern der Hand doch ziemlich genau her.

Wenn nun ein Gegenstand durch einen solchen Ringschluss der Hand umgriffen wird, so müssen die beiden Ränder den Gegendruck des Gegenstandes in derselben Art aufnehmen, wie dieses durch die Fusspunkte eines Gewölbes geschieht, und die Ränder der Hand werden einen Horizontalschub erfahren müssen, welcher die Ränder der Hand in der Richtung der umgriffenen Axe des Gegenstandes zu verschieben sucht. Würde diese Verschiebung wirklich zu Stande kommen, so würden dadurch die Finger aus einander gezerrt und die Fasswölbung der Hand flach gelegt. — Beide Lagenveränderungen der Finger werden aber durch zwei Einrichtungen verhindert. Für's Erste nämlich sind bekanntlich die Finger in der Beugung gegen die Metakarpusknochen so festgestellt, dass sie eine seitliche (adduktorische und abduktorische) Bewegung nicht erfahren können. Die geringe Bewegung in dem angegebenen Sinne, welche doch noch zu Stande gebracht werden kann, geschieht nicht zwischen der Grundphalanx und dem Metakarpusköpfchen, sondern wird nur möglich durch eine geringe Drehung des Metatarsusknochens um seine Längenaxe; deshalb sind dergleichen Bewegungen auch am Leichtesten

möglich an dem kleinen Finger, dessen Metakarpusknochen gegen den Karpus noch am meisten Beweglichkeit besitzt. Ohne Zweifel wird deshalb auch der *m. opponens digiti minimi* als ein wichtiger Antagonist gegen den Horizontalschub des kleinen Fingers auftreten können. Der zweite Widerstand gegen die erwähnte Lagenveränderung der Finger ist in den sogenannten *ligamenta capitulorum* gegeben, welche aber nicht, wie der Name andeutet, Verbindungen zwischen den *capitula* sind, sondern Verbindungen zwischen den starken volaren Kappen der Kapseln, und deswegen auf der volaren Seite hemmend sowohl gegen Auseinanderweichen wie gegen ein Flachlegen des Bogens, welcher durch die *capitula* gebildet wird, auftreten.

Schliesslich ist noch aufmerksam zu machen auf die Wirkung des *m. palmaris longus* und des *m. palmaris brevis*, welche beide Muskeln die Weichtheile der Vola für das Greifen geeigneter machen. Ersterer legt die Mitte der Handfläche tiefer, letzterer erhebt die Haut des Kleinfingerrandes zu einer vorspringenden Falte und es wird damit auch von Seiten der Weichtheile eine Art von Gewölbebildung erzielt, bei welcher ein genauer und weicher Anschluss des Kleinfingerrandes gegeben ist, während die tieferen in der Mitte der Vola liegenden Theile vor Druck beschützt bleiben (vgl. Lehrbuch III. Aufl. S. 230 u. S. 299).

Der Daumen.

Der Daumen hat vor den übrigen Fingern so viele Eigenthümlichkeiten voraus, dass es nicht wohl möglich ist, ihn auf den von den anderen Fingern her bekannten Fingertypus zurückzuführen. Von welcher Seite her man auch einen solchen Versuch unternimmt, immer wird man auf unlösbare Schwierigkeiten stossen. Man fasst ihn deshalb am Besten in der Eigenthümlichkeit seiner Anordnung auf, ohne sich zu weit in Parallelen oder Gegensätze einzulassen.

Etwas Besonderes bietet nicht das Gelenk zwischen den beiden Phalangen des Daumens; denn dieses Gelenk ist, wie die übrigen interphalangalen Fingergelenke ein mit Lateralbändern versehener Ginglymus.

Eigenthümlichkeiten bieten nur die beiden Gelenke des Metakarpusknochens und zwar 1) dadurch, dass das Karpo-Metakarpalgelenk eine so grosse Beweglichkeit zeigt, dass man es vielfach als ein freies Gelenk bezeichnet findet und 2) dadurch, dass das Metakarpo-Phalangal-Gelenk eine geringere Beweglichkeit besitzt, als die entsprechenden Gelenke der anderen Finger.

Die geringe Beweglichkeit der Grundphalanx auf dem Metakarpusköpfchen rührt von der sehr flachen, wenig gewölbten Beschaffenheit des

letzteren her. Seitenbewegungen im adduktorischen und im abduktorischen Sinne sind in diesem Gelenke nicht möglich und ebenso wenig Rotationsbewegungen, welche übrigens in den Metakarpo-Phalangal-Gelenken der anderen Finger ebenfalls nicht vorkommen oder höchstens in sehr unbedeutendem Grade. — Das Metakarpo-Phalangal-Gelenk des Daumens hat deswegen nur den Charakter eines Ginglymus mit einer nicht sehr umfangreichen Volarflexion und einer Dorsalflexion, welche je nach der Individualität einen verschiedenen Umfang besitzt. — Dadurch tritt also dieses Gelenk beinahe in die Bedeutung eines Inter-Phalangal-Gelenkes zurück.

Das Karpo-Metakarpal-Gelenk des Daumens ist genau genommen ein sehr unreines Gelenk, welches übrigens doch eine brauchbare Analyse gestattet. Die Grundform ist nämlich ein Ginglymus mit sattelförmiger Gelenkfläche. Als solcher besitzt das Gelenk zwei Axen, von welcher die eine in transversaler Richtung in dem *os multangulum majus* liegt (K a r p u s - A x e), die andere in dorsal-volarer Richtung durch die Basis des Metakarpusknochens geht (M e t a k a r p u s - A x e)[1]. — Von dem einfachen Schema einer solchen Gelenkform weicht aber das bezeichnete Gelenk noch dadurch ab, dass in demselben auch eine Drehung des Metakarpusknochens um seine Längenaxe möglich ist.

Die sattelförmige Rolle des *os multangulum* besitzt eine solche Schieflage, dass der in Streckstellung auf ihr stehende Daumen eine Abduktion von ca. 45° gegen den Zeigefinger zeigt, und dass eine Ebene, welche man im Sinne der Karpusaxe durch den ganzen Daumen in dessen Streckstellung legt, unter einem Winkel von ca. 130° eine Ebene durschschneidet, welche man durch die Metakarpusknochen der vier Finger im engeren Sinne legen kann. — Da der Metakarpusknochen des Daumens nur von zwei Muskeln angegriffen wird, nämlich dem *m. opponens* und dem *m. abductor longus*, so sind die meisten Bewegungen dieses vielseitigen Gelenkes, welches nach dem Umfange seiner Bewegungen füglich einem freien Gelenke verglichen werden kann, indirekte Bewegungen, welche durch die die Grundphalanx angreifenden Muskeln hervorgerufen werden.

Nach der Lage der drei Axen in dem Karpo-Metakarpal-Gelenk müssen die Bewegungen des ganzen Daumens sein:

1) f l e x o r i s c h e und e x t e n s o r i s c h e um die Karpusaxe,

2) a d d u k t o r i s c h e und a b d u k t o r i s c h e um die Metakarpusaxe,

1) A. Fick gibt eine mathematische Analyse von der Gestalt, welche eine solche Gelenkfläche besitzen muss. — Henle u. Pfeufer's Zeitschrift N. F. Bd. IV. S. 314—321.

3) rotatorische um die Längenaxe des Metakarpusknochens; diese rotatorischen sind, wenn sie den radialen Rand des Daumens nach der Vola hin bewegen, opponirende, und wenn sie denselben von der Vola weg bewegen, reduktorische (A. Fick schlägt den Namen Reduktion für die der Opposition antagonistische Bewegung vor).

Auf diese drei Formen der Bewegung müssen sich alle Bewegungen des ganzen Daumens zurückführen lassen; von den Muskeln des Daumens sind es aber nur drei, welchen eine annähernd reine Wirkung um eine der Axen zukommt. Diese beiden sind der *m. opponens* und die *m. flexores pollicis*. Der *m. opponens* bedingt eine Rotation im opponirenden Sinne um die Längenaxe des Metakarpusknochens. Die beiden *m. flexores pollicis* wirken flektirend in erster Wirkung auf die beiden Phalangen und in zweiter Wirkung auf das Karpo-Metakarpal-Gelenk. In möglichster Reinheit der Wirkung steht aber unter diesen beiden auch wieder nur der *m. flexor longus* da. Der *m. flexor brevis* besitzt schon eine Nebenwirkung im adduktorischen Sinne, indem er in der Mitte der volaren Fläche der Handwurzel entspringt, — und wegen seines Ansatzes an dem radialen Sesambein sogar noch eine rotirende Wirkung im opponirenden Sinne.

Ebenfalls wenig Komplikation zeigen die drei Extensoren des Daumens, nämlich der *m. abductor longus*, der *m. extensor brevis* und der *m. extensor longus*. Alle drei wirken direkt extensorisch auf das Glied, an welchem sie ihren Ansatz finden, und daneben wirken die beiden längeren von diesen Muskeln noch indirekt extendirend, der *m. extensor brevis* auf das Karpo-Metakarpal-Gelenk, und der *m. extensor longus* auf dieses Gelenk und das Metakarpo-Phalangal-Gelenk. Beide Arten extendirender Wirkung gehen bis in eine mehr oder weniger starke Dorsal-Flexion, so dass der Daumen auf seiner dorsalen Seite stark eingebogen erscheint, wenn alle drei Extensoren gemeinsam das Maximum ihrer Wirkung erzielen. Durch diese Stellung des Daumens wird in Gemeinschaft mit der Streckung der Finger die grösste Spann-, beziehungsweise Greifweite der Hand bezeichnet. — Wegen ihrer Lage zu der Basis des Metakarpusknochens hat aber auch der *m. extensor longus* noch eine entschiedene adduktorische und der *m. abductor longus* eine entschieden abduktorische Wirkung; und die Sehne des *m. extensor brevis* hat eine so schwankende Lage zu der Metakarpusaxe, dass dieser Muskel beide Wirkungen haben kann, weil sich die Sehne in der Adduktion so gegen den Zeigefinger verschiebt, dass sie adduciren hilft und in der Abduktion sich in gleicher Weise unterstützend an den *m. abductor longus* anschliesst. Die letztere Beziehung des *m. extensor brevis* ist aber entschiedener ausgesprochen als die erste.

Sehr unrein sind die beiden grösseren Muskelmassen, welche von der Volarseite der Hand herkommen den Daumen angreifen. — Nimmt man den *m. flexor brevis* heraus, so hat man eine genaue Scheidung dieser beiden Massen und kann dann ihre Thätigkeit leichter beurtheilen.

Es sei hier bemerkt, dass als die zweckmässigste Scheidung der Daumenmuskeln die folgende erscheint, bei welcher die Analogie mit der Muskulatur der grossen Zehe am Reinsten durchgeführt ist:

m. flexor brevis ist ein kleiner *musculus bicaudatus*, welcher, von dem *os capitatum* vorzugsweise entspringend, an beide Sesambeine geht; er besteht aus dem ulnaren und mittleren Bauch des *m. flexor brevis* der geläufigen Auffassung;

m. abductor brevis ist der kleine, durch seine Anheftungssehne scharf gezeichnete Muskel dieses Namens, entsprechend der geläufigen Auffassung;

m. opponens ist der Muskel, welcher gewöhnlich als solcher bezeichnet wird; zu ihm gehört aber noch eine Portion, welche seinen freien Rand bildet und gewöhnlich als radialer Theil des *m. flexor brevis* beschrieben wird; diese letztere Auffassung ist motivirt und gerechtfertigt durch die Anheftung dieser Portion an das radiale Sesambein; — sie ist aber mit dem *m. opponens* so eng verbunden und in so gleichartiger Weise angeordnet, dass sie am Natürlichsten als eine das Gelenk überschreitende Abtheilung des *m. opponens* angesehen werden kann;

m. adductor pollicis ist der Muskel, welcher mit dem ulnaren Bauche des *m. flexor brevis* oft eng verbunden von der Basis des Mittelfingers und des Zeigefingers bis zu dem Durchtritte des *r. profundus nervi ulnaris* entspringt und sich an das ulnare Sesambein ansetzt;

m. transversus volae ist der Theil des *m. adductor pollicis* der geläufigen Auffassung, welcher zwischen dem eben genannten Nervendurchtritte und den *capitula* des Mittelfinger- und Zeigefinger-Metakarpusknochens von diesen beiden Knochen entspringt und sich an das ulnare Sesambein ansetzt.

Nach Wegnahme also des *m. flexor brevis* in dem angegebenen Sinne findet man zwei scharf geschiedene Muskelmassen.

Die eine entspringt in querer Linie von dem *ligamentum carpi volare* und geht an den radialen Rand des Metakarpusknochens und an das radiale Sesambein. Im Allgemeinen besitzt diese Muskelmasse eine flexorische und opponirende Wirkung für den Metakarpusknochen und die erste Phalanx. In der volaren Randportion des *m. opponens* tritt dabei die flektirende Wirkung, namentlich auf die erste Phalanx, etwas

schärfer hervor, und die als *m. abductor brevis* bezeichnete Portion gewinnt mehr abduktorische als flektirende Bedeutung.

Die zweite Muskelmasse hat einen breiten longitudinalen Ursprung vorzugsweise von dem Metakarpusknochen des Mittelfingers, und ihre Fasern konvergiren nach dem ulnaren Sesambein. Im Allgemeinen muss diese Masse adducirend, flektirend und reducirend wirken; die flektirende Wirkung ist aber stärker ausgesprochen in dem *m. adductor* und die adducirende mehr in dem *m. transversus volae*.

Der ganze Körper in der Ruhe.

Der ganze Körper befindet sich in der Ruhe, wenn alle in demselben wirkenden Kräfte gegenseitig im Gleichgewicht sind oder sich gegenseitig aufheben.

Diejenigen Kräfte, welche hier in Rechnung kommen, sind theils wirklich aktive Kräfte, theils die mehr passiven Kräfte des Widerstandes. Von der ersteren Art sind die Muskelkräfte: Kontraktion und Tonus, sowie die Schwere; — von der zweiten Art sind: Druckwiderstand, z. B. der Knochensubstanz, und Zugwiderstand, z. B. der Bänder. — Eine Mittelform ist die Elasticität, weil diese theils als Widerstand wirken kann, theils nach geschehener Ausdehnung sich als aktive Kraft geltend macht.

Die aktiven Kräfte können neutralisirt werden durch aktive Kräfte, — Muskelwirkung durch andere Muskelwirkung oder durch Schwere, — Schwere durch Muskelwirkung, — oder durch die passiven Kräfte, welche ihrem weiteren Wirken Widerstände entgegenstellen. — In dem ersteren Falle ist ein wirkliches Gleichgewicht, d. h. gleiche Grösse der gegeneinander wirkenden Kräfte nothwendig; — in dem zweiten Falle dagegen ist nur nothwendig, dass die Widerstandsfähigkeit nicht geringer sei, als die Grösse der Kraft, deren Wirken gehemmt werden soll. In der Regel ist aber die Widerstandsfähigkeit eine bedeutend grössere.

Ist den bezeichneten Bedingungen entsprochen, dann ist indessen der Körper erst *in sich* in Ruhe; — um vollkommen in Ruhe zu sein, muss er auch noch *als Ganzes seiner Umgebung gegenüber* in Ruhe sein; — und hierfür ist nothwendig, dass sein Gesammt-Schwerpunkt genügend unterstützt sei. — Bekanntlich ist dieses in zweierlei Weise möglich, indem entweder ein *oberhalb* des Schwerpunktes gelegener Fixirungspunkt dem *Zuge* desselben einen Widerstand entgegensetzt, — oder indem ein *unterhalb* des Schwerpunktes gelegener Punkt

dem Drucke desselben widersteht. — In dem ersteren Falle hängt der Körper, in dem letzteren Falle steht er. Zu einem Stehen, bei welchem die Nachtheile des labilen Gleichgewichtes vermieden sein sollen, ist aber erforderlich, dass nicht ein einzelner in der Richtung der Schwerlinie gelegener Punkt zur Unterstützung gegeben sei, sondern eine grössere Berührungsfläche des Körpers mit seiner Unterlage oder wenigstens einige peripherische Punkte einer solchen Fläche (vgl. den Abschnitt: Vorbegriffe etc.). Bei dem »Stehen« eines Körpers denkt man deshalb auch stets an eine Unterstützung durch eine grössere Berührungsfläche oder wenigstens durch eine Anzahl von Punkten oder Linien, welche die Umrisse zu einer solchen darstellen.

Zwischen »Stehen« und »Liegen« ist nur der unwichtige Unterschied, dass man den ersteren Ausdruck vorzugsweise gebraucht, wenn die Längenaxe eines Körpers senkrecht zu dem unterstützenden Boden gestellt ist, — sonst »steht« auch ein jeder Gegenstand, der eine entschiedene obere und untere Seite hat, wenn auch seine Längenaxe nicht senkrecht zur Unterstützungsfläche gestellt ist, z. B. eine schmale, niedrige und lange Schachtel. — Es möchte übrigens schwer werden, den Sprachgebrauch für diese beiden Stellungsbezeichnungen hinlänglich festzustellen. Für den menschlichen Körper ist das Verhältniss der Längenaxe zur Bodenfläche in bekannter Weise massgebend.

1. Liegen.

Die einfachste Form der Ruhehaltung und der Ruhe ist in dem Liegen gegeben. Da hierbei ein möglichst grosser Theil der Körperoberfläche mit dem Boden in Berührung ist, so ist der Schwerpunkt stets sicher unterstützt. — Die Ruhelage der einzelnen Theile des Körpers kommt aber dabei in verschiedener Weise zu Stande, und um dieses näher zu bezeichnen, können zwei typische Arten des Liegens aufgestellt werden, nämlich

das Liegen auf dem Rücken und
das Liegen auf der Seite.

Bei dem Liegen auf dem Rücken liegt der Körper mit seiner breitesten Rumpffläche, dem Rücken, an dem Boden, und theils durch die Schwere, theils durch den Gegendruck des Bodens, unter gleichzeitiger Beihülfe der Elasticität der Zwischenwirbelscheiben nimmt dabei die Wirbelsäule ihre gestreckteste (geradeste) Gestalt an. — Der Kopf, der Schwere folgend, liegt mit dem Hinterhaupte am Boden, und in gleicher Weise liegen die vier Extremitäten in gestreckter Gestalt durch die Wirkung ihrer Schwere an dem Boden an und befinden sich dabei

etwa auch noch in Abduktionsstellung als einer durch die Muskeln bedingten Mittellage. — Im Allgemeinen wird also in dieser Art des Liegens die Ruhehaltung durch die Wirkung der Schwere und den Gegendruck des Bodens bedingt.

Bei dem Liegen auf der Seite findet man dagegen eine mässige Krümmung der Wirbelsäule nach vornen, — angezogene Oberschenkel, — gebogene Knie, — halb gehobene Arme, — halb gebogene Ellenbogen; — kurz! man erkennt in allen Theilen des Körpers eine Ruhelage, welche bedingt ist durch die Mittellage aller Gelenke, wie diese durch das Gleichgewicht der Muskeln hervorgebracht wird. Daneben freilich wirkt auch noch in allen Theilen die Schwere, so dass sie soweit möglich auf dem Boden liegen oder auf anderen Theilen des Körpers, wie z. B. das dem Boden fernere Bein auf dem dem Boden näheren liegt.

Dass zwischen diesen beiden extremen Formen die verschiedensten Zwischen- und Mischformen vorkommen, ist selbstverständlich.

2. Stehen.

Dem Liegen gegenüber, in welchem fast alle Theile des Körpers mit dem Boden in Berührung kommen und durch denselben unterstützt werden, steht als zweite typische Form der Ruhe des ganzen Körpers das Stehen und zwar das aufrechte Stehen, bei welchem die Längenaxe des Körpers senkrecht zu dem Boden gestellt ist und die Schwere durch eine verhältnissmässig sehr kleine Unterstützungsfläche getragen wird, nämlich durch die beiden mit den Sohlen auf dem Boden stehenden Füsse.

Der Raum, welcher hierbei für die Unterstützung des Schwerpunktes gegeben ist, ist ein sehr verschieden grosser und wird bestimmt durch die beiden Füsse und durch die beiden Linien, welche die beiden Fussspitzen, beziehungsweise die beiden Fersen, unter einander verbinden. Diese Fläche ist ein Viereck verschiedenster Gestalt, je nach der Stellung der beiden Füsse, und wird zu einem Dreieck mit stumpfer Spitze, wenn entweder die Fersen oder die Fussspitzen einander berühren. Eine linienförmige Gestalt wird annähernd gewonnen, wenn beide Füsse der Art gestellt werden, dass ihre Längenaxen in Kontinuität stehen; dabei können die Füsse entweder vor einander stehen, so dass die Spitze des einen Fusses die Ferse des anderen berührt, oder sie können neben einander stehen, indem die Fersen sich berühren und die Fussspitzen so nach auswärts gewendet sind, dass beide Füsse eine gerade Linie darstellen.

Je grösser der auf angegebene Art gebildete Flächenraum ist, um so grösser ist die Sicherheit in dem Stehen, weil dann auch grössere

Schwankungen in der Lage des Schwerpunktes entstehen können, ohne dass die Unterstützung verloren wird. Die unsicherste und schlechteste Unterstützung ist aus leicht verständlichen Ursachen diejenige, welche durch lineare Aneinanderreihung der Füsse gegeben ist.

Damit aber der Körper als Ganzes auf einer solchen Unterstützung stehen könne, muss das ganze Knochengerüste desselben durch Zusammenwirken verschiedener Kräfte zu einer einheitlichen Kombination gestaltet sein, welche im Stande ist, sich selbst zu tragen.

Untersucht man in dieser Beziehung den ganzen Körper, so findet man, dass die Frage nach der Entstehung einer solchen Kombination zunächst darauf zu richten ist, wie die beiden Haupttheile des Körpers, Rumpf und Beine, welche zugleich die umfangreichste und leichteste Beweglichkeit gegen einander zeigen, gegen einander so festgestellt werden, dass sie eine Kombination bilden.

Der Gedanke, dass der Rumpf, welchen man sich für's Erste einmal als eine in sich unveränderlich festgestellte Kombination ansehen mag, auf der Hüftaxe in labilem Gleichgewicht unterstützt sei, ist nicht zu halten; denn es ist leicht einzusehen, dass eine solche Stellung nur durch beständig wechselnde unruhige Muskelthätigkeit erhalten werden kann. Die geringste Bewegung des Kopfes oder des Armes, die Athmungsbewegungen und selbst die Herzthätigkeit müssen ja in jedem Augenblicke eine Störung des Gleichgewichtes bedingen und damit der Nothwendigkeit rufen, durch eine Muskelthätigkeit die entstandene Störung wieder aufzuheben.

Eine wirklich ruhende und sichere Vereinigung zwischen den Beinen, die man sich ebenfalls vorläufig als eine in sich feste Kombination denken mag, und dem Rumpfe kann nur nach dem Grundsatze des festgestellten Hebels [1]) zu Stande kommen. Dieser Bedingung ist in dem Hüftgelenke auf das Leichteste entsprochen, wenn die Schwerlinie des Rumpfes hinter der Hüftaxe, d. h. hinter der Verbindungslinie beider Pfannenmittelpunkte herunterfällt und dann durch die Spannung des *ligamentum ileofemorale* vor der Hüftaxe einem weiteren Sinken des Rumpfes nach hinten ein absoluter Widerstand entgegengestellt wird.

Nach diesem einen Gesetze lässt sich ohne Schwierigkeit die Haltung des ganzen Körpers in den verschiedenen Modifikationen des aufrechten Stehens bestimmen, so weit solche nicht durch Thätigkeit von Muskeln des Hüftgelenkes bedingt sind. Es ist dabei nur noch ein Punkt zu berücksichtigen, der nämlich, dass für ein möglichst ruhiges Stehen die Schwerlinie des ganzen Körpers möglichst in die Mitte des Fuss-Viereckes fallen muss.

1) Vgl. Abschnitt: Vorbegriffe etc.

Denkt man sich also den Rumpf (mit Kopf und Armen) als eine gegebene in sich unveränderliche Kombination, und in gleicher Weise auch die Beine, deren Femurköpfe durch die Hüftaxe unter einander verbunden sind, so ist ein gesichertes Ruhen des Rumpfes auf den Beinen und ein gesichertes Ruhen des ganzen Körpers in stehender Haltung auf dem Boden nur unter den folgenden Bedingungen möglich:

1) die Schwerlinie des Rumpfes fällt hinter der Hüftaxe herunter;
2) der Rumpf sinkt durch Drehung um die Hüftaxe nach hinten soweit hinab, als es das *ligamentum ileo-femorale* gestattet; — Spannung dieses Bandes wird Hemmung für weiteres Sinken;
3) nachdem auf solche Weise Rumpf und Beine gegen einander festgestellt und zu einer Kombination vereinigt sind, ist der ganze Körper durch entsprechende Bewegung in den Fussgelenken in eine solche Neigung zu bringen, dass seine Schwerlinie in den Mittelpunkt des Fuss-Viereckes fällt; als massgebend ist dabei indessen nur der wirklich als Gewölbe stützende Theil des Fusses anzusehen, d. h. der Theil zwischen der Ferse und dem Metatarsusköpfchen der grossen Zehe.

Die Modifikationen, welche in dem aufrechten Stehen statt finden können, sind nach diesem leicht zu überblicken. Sie müssen sich nämlich in der Hauptsache auf Modifikationen in der Lage des allgemeinen Schwerpunktes zurückführen lassen, und diese wiederum sind abhängig von Gestaltveränderungen des Rumpfes in sich, und von der Neigung des Beckens den Beinen gegenüber. Beide Verhältnisse für sich und in ihren gegenseitigen Beziehungen sind später zu besprechen. Für jetzt genügt die Aufstellung des allgemeinen Gesetzes für das aufrechte Stehen[1]).

3. Knieen.

An das Stehen reiht sich als nächst verwandte Ruhelage in aufrechter Stellung das Knieen an. Die typische Form für dieses ist eine solche Stellung, bei welcher beide Kniee und beide Fussspitzen den Boden berühren. Die Unterstützungsfläche, in welche die Schwerlinie hierbei hinunterzufallen hat, ist das grosse Viereck, welches durch die bezeichneten Punkte als Endpunkte angegeben wird; — schmaler ist dasselbe bei Anschluss der Unterschenkel an einander, breiter bei entfernterer Lage, welche durch Abduktion der Oberschenkel im Hüftgelenke hervorgebracht wird. In dem Beine ist in diesem Falle nur Ruhe, wenn es der Schwere überlassen ist, die Gestaltung desselben zu bestimmen. Ist dieses der Fall, dann wirkt die Schwere des Rumpfes als Druck auf

1) Vgl. II. 10. Fig. 8.

das obere Ende des Femur und dieses sinkt, während das Kniegelenk durch Klaffen das Normalmass seiner Bewegung überschreitet, mit dem Becken bis auf die Ferse hinab und durch Druck auf diese wird dann noch der Fuss, dessen Rücken an dem Boden liegt, in extremste Streckstellung gebracht, so dass er mit dem Unterschenkel zusammen ein Gewölbe darstellt, welches im Stande ist, die Last des Rumpfes zu tragen. Jede andere Stellung des Kniees oder des Fusses kann nur durch Muskelthätigkeiten unterhalten werden, gehört also insofern nicht in diese Untersuchung. — Unter welchen Bedingungen eine Ruhelage zwischen Rumpf und Beinen gegeben ist, ist in dem Früheren schon ausgesprochen; es ist aber leicht zu erkennen, dass dann, wenn diesen Bedingungen in dem Knieen bei eben beschriebener Haltung der Beine entsprochen sein sollte, der allgemeine Schwerpunkt nicht mehr Unterstützung durch das bezeichnete Viereck finden würde. Die einzige Art, wie der Rumpf bei dieser Art des Knieens in Ruhelage sein kann, ist das Stützen nach vornen in einer Beugestellung des Hüftgelenkes; hierbei kann zweierlei stattfinden, entweder nämlich findet das Maximum der Hüftbeugung statt, so dass der Brustkorb auf den Knieen liegt, oder es wird in erhobenerer Stellung des Rumpfes eine Stützung durch Anstemmen der Arme auf die Kniee oder die Oberschenkel gesucht. Jede andere Stellung des Rumpfes ist nur durch Muskelthätigkeit zu erhalten. — Das Knieen auf b e i d e n Knieen ist daher, wenn es nicht in der ganz zusammengesunkenen Form geschieht, immer mit Muskelthätigkeit verbunden und zwar entweder im Kniegelenk oder im Hüftgelenk oder in beiden. Die beiden gewöhnlich geübten Formen desselben sind daher auch diejenigen, in welchem nur in e i n e m dieser Gelenke Muskelthätigkeit erfordert wird; und diese sind:

1) Fixirung des Rumpfes in aufrechter Haltung auf den Oberschenkeln nach dem beim »Stehen« geltenden Gesetze, und eine durch Muskelthätigkeit unterhaltene Kniebeugung von einem solchen Grade, dass der allgemeine Schwerpunkt durch das bezeichnete Viereck unterstützt wird;
2) Maximum der Kniebeugung, wie oben beschrieben, und Haltung des Rumpfes in dem Hülftgelenke durch Muskelthätigkeit.

Diese beiden Arten des Knieens entbehren aber der nöthigen Gleichgewichtsruhe, weil sie nicht ohne Muskelthätigkeit zu Stande kommen; aus diesem Grunde wird auch in der Regel eine Form des Knieens vorgezogen, welche im Stande ist, mit möglichst weniger Muskelthätigkeit sich in sich selbst zu halten. Diese Form ist das e i n s e i t i g e K n i e e n, und sie besteht darin, dass das eine Bein auf das Knie niedergelassen ist, während das andere mit gebogenem Knie auf dem Fusse stehen bleibt. Dabei müssen nun die beiden Beine verschiedene Bedeutung gewinnen

und es ist für richtige Würdigung dieses Verhältnisses angemessen auch hier wieder die zwei extremsten Formen der Haltung zu bezeichnen, zwischen welchen alle hierher gehörigen Haltungen als Mittelformen dastehen. Als Unterstützung dient nämlich im Allgemeinen der ziemlich beträchtliche Flächenraum (Viereck oder abgestumpftes Dreieck), welcher durch den Unterschenkel des knieenden und den Fuss des stehenden Beines bezeichnet wird, aber die Belastung kann entweder mehr dem knieenden Beine zugewendet werden oder mehr dem stehenden. Sucht man für jedes dieser beiden Verhältnisse diejenige Form, in welcher die Theile des Knochengerüstes so gruppirt sind, dass sie als eine in sich festgestellte Kombination anzusehen sind, so findet man folgende beide Formen, welche zugleich die extremsten Typen des einseitigen Knieens sind:

1) gegen den Oberschenkel des knieenden Beines befindet sich der Rumpf in der Stellung, wie sie dem Gesetze des aufrechten Stehens entspricht, so dass also die Schwerlinie des Rumpfes hinter dem Hüftgelenke herunterfällt und der Rumpf durch die Spannung des *ligamentum ileo-femorale* dieser Seite getragen wird. Die hierdurch erzeugte Kombination, bestehend aus dem Rumpfe und einem Oberschenkel, ist dann so gestellt, dass ihr gemeinsamer Schwerpunkt seine Schwerlinie etwas vor dem ruhenden Kniee hinabschickt; sie hat deswegen eine Neigung nach vornen zu fallen und dieser widersteht das vorgesetzte stehende Bein, während es zugleich eine Stütze gegen das seitliche Umfallen gewährt. Ist in diesem Beine der Unterschenkel so gestellt, dass er mit seinem oberen Ende eine Neigung nach hinten hat, so kann er den ihm durch seinen Oberschenkel übertragenen Druck jener Kombination so aufnehmen, dass er denselben in der Richtung seiner Längenaxe auf den Fuss überträgt. Von diesem wird dann die in diesem Drucke enthaltene senkrechte Komponente auf den Boden übertragen, während die wagerechte Komponente, welche einen Horizontalschub bedingen würde, durch die Reibung der Sohle an dem Boden aufgehoben wird[1]);

2) der Rumpf liegt auf dem Oberschenkel des stehenden Beines in stärkster Beugung des Hüftgelenkes. Diese Kombination ist nur vornen durch den Unterschenkel gestützt, welcher mit seinem oberen Ende gegen vornen geneigt ist; — und ihre Lage ist der Art, dass ihr gemeinsamer Schwerpunkt seine Schwerlinie etwas

1) Vgl. II. 10. Fig. 16, in welcher Figur aber die Stellung so modificirt ist, dass die Schwerlinie in das ruhende Knie fällt.

hinter dem aufgesetzten Fusse hinabschickt. Der Oberschenkel des knieenden Beines dient dann als ein Strebepfeiler, welcher, während er zugleich eine seitliche Stütze gibt, ein weiteres Sinken nach hinten verhindert[1]).

4. Hocken.

Bei dem Hocken findet eine Aufstützung des Körpers an den Boden durch die Füsse und das Becken (*tubera ischii*) statt. Kniee und Hüftgelenke befinden sich dabei in dem Maximum der Beugung und der Körper besitzt als Ganzes dieselbe Gestalt, wie er sie bei dem zusammengesunkenen zweiseitigen Knieen besitzt, nur ist er in anderer Weise unterstützt. — Ist nur das durch die Muskelthätigkeit mögliche Maximum der Kniebeugung gegeben und hängen die Arme zur Seite herunter, so ist der allgemeine Schwerpunkt so weit nach hinten, dass eine ruhige Unterstützung nicht gesichert ist. Um eine solche zu gewinnen, sind dann zwei Möglichkeiten gegeben, nämlich entweder eine leichte Erhöhung der Unterlage für die Sitzhöcker, oder ein Umklammern der Kniee durch beide Arme, wodurch einerseits, wegen des Vorstreckens der Arme, der Schwerpunkt weiter nach vornen gerückt wird, und andererseits eine möglichst starke Krümmung der Wirbelsäule nach vornen und auch damit eine Verlegung des Schwerpunktes nach vornen erzielt wird. Eine sekundäre Wirkung dieser Haltung ohne wesentliche Bedeutung ist die klaffende Uebertreibung der Kniebeugung bis zur Berührung der *tubera ischii* durch die Fersen[2]).

Eine Modifikation des Hockens ist die orientalische Art des Hockens mit untergeschlagenen Beinen, wobei die Oberschenkel in Abduktionsstellung gebeugt sind und die im Knie stark gebeugten Unterschenkel gekreuzt liegen. Der Unterstützung dienen hier die *tubera ischii* und die auf ihrem äusseren Rande liegenden Füsse, welche den Sitzhöckern sehr nahe gerückt sind. Diese Form des Hockens gewährt dem vorher besprochenen Hocken gegenüber gewisse Vortheile. In den Beinen ist vollständige Ruhe und die Unterstützungsfläche hat durch die Lage der Füsse eine grössere Breite und damit mehr Sicherung nach beiden Seiten. Der Umstand, dass ein Theil der Oberschenkel und der Unterschenkel vor der Unterstützungsfläche frei liegt und dieselbe überragt, gibt ein günstigeres Verhältniss für die Unterstützung, weil dadurch ein gewisses Gegengewicht gegen die Schwere des Rumpfes

1) Vgl. II. 10. Fig. 17. Auch hier ist die Stellung etwas modificirt, so dass die Schwerlinie in den aufgesetzten Fuss fällt.

2) Vgl. II. 10. Fig. 11 und 12.

gegeben ist; dennoch aber ist, damit der gemeinsame Schwerpunkt entsprechend unterstützt sei, eine starke Vorwärtsneigung des Rumpfes und gleichzeitige Beugung der Wirbelsäule nothwendig. Zum absoluten Ruhen ohne Muskelthätigkeit ist jedoch noch ein Aufstützen der Arme auf die Oberschenkel nöthig. — Die Vortheile, welche diese Form des Hockens gewährt, hat ihm bekanntlich eine weite Verbreitung als Art des Sitzens bei den orientalischen Völkerschaften gesichert; dasselbe wird aber auch zugleich Ursache für die gewohnheitsgemässe gebeugte Haltung der Wirbelsäule bei denselben Völkerschaften.

5. Sitzen.

Das Sitzen ist von den bisher besprochenen Ruhelagen des Körpers darin verschieden, dass bei mehr oder weniger aufrecht gestelltem Rumpfe die Unterstützung des ganzen Körpers durch die Oberschenkel und das Becken zu Stande gebracht wird. — Die Unterstützungsfläche ist ein Viereck gebildet durch die untere (hintere) Fläche des oberen Theiles beider Oberschenkel; — hintere Grenzlinie desselben ist eine durch beide Sitzhöcker gezogene Linie, die vordere Grenzlinie wird bestimmt durch die vordere Grenzlinie des Gegenstandes, auf welchem gesessen wird, sie kann ganz nahe den Sitzhöckern liegen, kann aber auch bis zu den Kniekehlen nach vornen rücken. — Wenn es auch zu der typischen Form des Sitzens wesentlich gehört, dass die angegebene Art der Unterstützung gegeben sei, so haben wir in derselben doch eine Vereinigung zweier Grundformen zu erkennen, welche zu scheiden von Interesse ist.

Da an die Unterstützung überhaupt nur die Anforderung zu stellen ist, dass die Schwerlinie in die unterstützende Fläche fällt, und da der Ort, in welchem sie mit dieser Fläche zusammentrifft, im Ganzen gleichgültig ist, so kann die Schwerlinie, ohne dass die Unterstützung als solche dadurch geschädigt wird, in verschiedensten Punkten mit der Unterstützungsfläche zusammenfallen, er kann sogar in die Grenzlinien derselben selbst fallen. So ist es denn auch bei dem Sitzen möglich, dass als Unterstützung ganz allein die vordere Grenzlinie der oben bezeichneten Unterstützungsfläche dient, — oder ganz allein die hintere. — Beide Formen des Sitzens sind unsichere, weil sie, als durch Unterstützung nur in einer Linie zu Stande kommend, den Körper nur im labilen Gleichgewichte halten. Die unsicherste von beiden ist diejenige auf den Sitzhöckern allein und dennoch ist sie als die eigentliche Grundform des Sitzens zu bezeichnen, weil sie den Rumpf am Unmittelbarsten unterstützt.

Das Sitzen auf der vorderen Grenzlinie, also auf einer quer über die Hinterseite beider Oberschenkel gezogenen Linie wird aus-

geführt, wenn nur eine schmale Leiste zum Sitzen gewährt ist, oder wenn beim Sitzen auf einem Stuhle oder einer Bank der ganze Körper höher erhoben wird und dann nur noch auf der vorderen Kante des Sitzes schwebt. — Die Mechanik dieser Form des Sitzens ist unschwer zu verstehen. Der gemeinsame Schwerpunkt des Rumpfes und der hinter der Stützlinie liegenden Theile der Oberschenkel muss nämlich gerade über die Leiste oder Kante gebracht werden, und der gemeinsame Schwerpunkt der unteren Abtheilung der Oberschenkel und der Unterschenkel mit den Füssen muss gerade unter die Leiste gebracht werden. Der beträchtlichere Theil der Schwere ist jedenfalls hierbei der über der Leiste wirkende, der darunter wirkende ist nur ein verhältnissmässig geringes Gegengewicht. Der Körper ruht also hier im labilen Gleichgewichte und muss durch beständige Aequilibrirungsbewegungen in seiner Lage erhalten werden; — selbstverständlich ist eine solche Haltung eine ebenso unruhige wie unsichere und kann kaum als eine Ruhelage bezeichnet werden; — am Meisten ist noch Ruhe gegeben, wenn mit sehr starker Beugung der Hüftgelenke der Rumpf stark nach vornen geneigt und sein Schwerpunkt dadurch möglichst tief gelegt wird. — Die Möglichkeit, bei der in dieser Form des Sitzens nothwendigen mehr oder weniger starken Neigung des Oberschenkels nach vornen oder nach hinten dennoch die Berührung mit der Unterstützungslinie zu unterhalten, ist dadurch gewährt, dass die Leiste sich in die Weichtheile der Oberschenkel eindrückt und somit also der Körper mit Hülfe der Druckrinne an der Leiste hängt.

Das Sitzen auf den Sitzhöckern ist kaum sicherer und ruhiger, denn die Sitzhöcker bieten in ihrer abgerundeten Gestalt, in welcher sie zusammen eine Art von Schaukelstuhl darstellen, ebenfalls nur eine linienförmige Unterstützung. Jeder Sitzhöcker kann nämlich wegen seiner Krümmung nur in einem Punkte mit der Unterlage in Berührung treten, und wenn beide Sitzhöcker sich auf solche Art auf die Unterlage stützen, so ist die Verbindungslinie der beiden (rechtsseitigen und linksseitigen) Berührungspunkte als die Unterstützungslinie des Rumpfes anzusehen, auf welcher dann der Rumpf im labilen Gleichgewichte ruht.

Dass das labile Gleichgewicht sich nicht mit dem Begriffe einer gesicherten Ruhelage verträgt, ist bekannt; und wenn in dem Sitzen eine vollständige Ruhelage geschaffen sein soll, so ist es deshalb nothwendig, dass 1) eine grössere Unterstützungsfläche gegeben werde und dass 2) die Ruhehaltung in dem Körper selbst möglichst gesichert sei.

Eine grössere Unterstützungsfläche ist nicht nur leicht gefunden, sondern es ist sogar fast schwierig, die Verwendung einer solchen zu vermeiden, indem in zweierlei Weise eine vordere Linie gewonnen werden kann, welche mit der Sitzhöckerlinie zusammen im Stande ist, die Grenzen eines grösseren oder kleineren Unterstützungsviereckes zu geben.

Eine Linie dieser Art wird in der gewöhnlichen Art des Sitzens durch die Berührungslinie der Oberschenkel mit der vorderen Grenze der Sitzunterlage gegeben, — und eine zweite durch die vor der Sitzunterlage auf den Boden gestellten Füsse. — Eine weitere Vergrösserung der Unterstützungsfläche in der Richtung nach hinten, welche gelegentlich eintreten kann, ist später zu berücksichtigen.

Was nun die Ruhehaltung in dem Körper selbst angeht, so ist diese für die Beine durch die Unterstützung mittels der Sitzunterlage gewährt oder auch durch das Aufstützen der Füsse bei gebeugten Knieen auf den Boden, wobei eine weitere Berührung mit der Sitzunterlage als durch die Sitzhöcker nicht nothwendig ist. Findet eine Unterstützung nur durch die die Sitzunterlage berührenden Sitzhöcker und Oberschenkel statt, so ist in den Beinen ebenfalls Ruhe, indem die Unterschenkel und Füsse an dem unteren Ende des Femur hängend getragen werden.

Dagegen ist die Ruhe des Rumpfes in den Hüftgelenken sehr wenig gesichert, weil sich die Beine in einem mittleren Beugungszustande des Hüftgelenkes befinden, aus welchem weder eine stärkere Beugung noch eine Streckung ein Hemmniss findet. — Das einzige, aber unbedeutende Hemmniss, welches hier gefunden wird, steht der Streckung, also einem Rückwärtsfallen des Rumpfes, entgegen. Dieses Hemmniss ist dadurch gegeben, dass die nach hinten gerichtete Peripherie des Sitzhöckers weiter von der Hüftaxe entfernt ist, als die nach unten gerichtete, — dass demnach, wenn der Rumpf rückwärts fallen soll, die Hüftgelenke gehoben werden müssen, wobei dann entweder die Sitzhöcker sich nach vornen unter die ruhende Hüftaxe schieben, oder die Sitzhöcker, nach hinten sich wiegend, die Hüftgelenke und mit ihnen die Beine nach hinten ziehen.

Diese Unsicherheit in der Haltung des Rumpfes ist noch deshalb von einem weiteren Interesse, weil von der Lagerung des Rumpfes sehr wesentlich die Möglichkeit einer Unterstützung durch die Sitzunterlage abhängig ist. Es ist nämlich leicht einzusehen, dass eine Unterstützung durch die oben angegebene Unterstützungsfläche nur möglich ist, wenn der Rumpf im Hüftgelenke eine Neigung nach vornen hat; — wenn dagegen seine Schwerlinie so weit hinter der Hüftaxe herunterfällt, dass die ihm und dem oberen Theile der Beine gemeinsame Schwerlinie ebenfalls hinter der Hüftaxe herunterfällt, so ist eine Unterstützung durch jene Fläche nicht mehr möglich und die nothwendige Folge ist ein Hintenüber-Fallen des ganzen Körpers. Sitzende, welche sich nach hinten überbeugen, pflegen deshalb auch die Beine nach vornen gerade auszustrecken, um dadurch den Schwerpunkt der Beine und damit den gemeinsamen Schwerpunkt des ganzen Körpers so weit nach vornen zu rücken, dass derselbe durch die Sitzhöcker noch eine Unterstützung

findet. — Ein solches Hülfsmittel für die Aequilibrirung ist aber nur von beschränkter Brauchbarkeit und gar nicht einmal in allen Fällen anwendbar. Soll eine Ruhelage im Sitzen mit einer solchen Lagerung des Schwerpunktes hinter der Hüftaxe möglich sein, so muss der Rumpf noch einen Stützpunkt (Lehne) hinter sich finden. Wie ein solcher beschaffen sein muss, fällt indessen mit der folgenden Frage zusammen, ist also hier nicht weiter zu untersuchen.

Unabhängig von der Unterstützungsfrage überhaupt und mehr in Beziehung stehend zu der Frage über die Ruhe in dem Körper selbst ist der Umstand, dass eben deshalb, weil keine Bandhemmung eine Fixirung des Rumpfes auf den Beinen bedingt, eine jede Haltung des Rumpfes im Sitzen nur durch Muskelthätigkeit zu Stande kommen kann, wenn nicht dem Rumpfe noch accessorische Unterstützung gegeben wird, welche im Stande ist, ihn in einer bestimmten Lage zu halten, ohne dass die Hüftgelenkmuskeln angestrengt werden. Eine solche accessorische Unterstützung muss sich dem um die Hüftaxe oder um die Sitzhöckerlinie, je nachdem die eine oder die andere fester gestellt ist, nach vornen oder nach hinten umfallenden Rumpfe entgegenstellen und weiteres Umfallen hindern; die Ruhelage des Rumpfes ist dann gegeben durch Gleichgewicht zwischen der Wirkung seiner Schwere und dem entgegenstehenden Widerstande.

Dem Fallen nach vornen kann Hemmung in folgenden Arten geboten werden:

1) der ganze Rumpf fällt so weit nach vornen hinab, dass er auf den Oberschenkeln aufliegt,
2) die Arme (Hände, Ellenbogen) stützen sich auf die Oberschenkel,
3) der Rumpf (vordere Brustfläche) lehnt sich an einen äusseren Gegenstand, z. B. einen Tischrand,
4) die Arme stützen sich auf einen äusseren Gegenstand, z. B. auf seitliche Stuhllehnen oder auf einen Tisch,
5) die Ellenbogen stützen sich auf einen äusseren Gegenstand und der Kopf findet noch besondere Unterstützung durch die Unterarme, indem er von den Händen getragen wird.

Dem Fallen nach hinten kann eine Hemmung nur durch Anlehnen an einen äusseren Gegenstand gewährt werden; dieses kann aber in verschiedener Weise zu Stande kommen:

1) hinterer Beckenrand, Kreuzbein oder auch die unteren Lendenwirbel finden eine Stütze, welche das Becken hindert, weiter nach hinten zu fallen. Das Becken wird dadurch so fest gestellt, dass auf demselben die Wirbelsäule frei beweglich ist und eine ihrer typischen Ruhelagen einnehmen kann, wodurch dann auch

zugleich in dem Rumpfe selbst die nöthige Ruhehaltung gesichert ist. — Eine Unterstützung dieser Art ist als »Kreuzlehne« zu bezeichnen;

2) eine Unterstützung ist einem Punkte der Wirbelsäule oder einem grösseren Theile derselben gewährt, welcher in der Gegend der unteren Brustwirbel gelegen ist. Eine solche Unterstützung (»Rückenlehne«) hindert einerseits das Rückwärtsfallen des Rumpfes und andererseits kann sie auch die Schwere der überliegenden Theile des Rumpfes tragen helfen und damit die Lendenwirbelsäule entlasten. Diese letztere Bedeutung gewinnt die Rückenlehne in höherem Masse, wenn sie etwas weiter unten anliegt, als wenn sie einen höheren Theil der unteren Hälfte der Brustwirbelsäule trifft;

3) die rückwärts gestellten Oberarme finden mit dem Ellenbogen eine Stütze, — oder die rückwärts gestellten ganzen Arme eine solche mit den Händen. In diesem Falle wird fast die ganze Wirbelsäule entlastet, indem die festgestellten Schultergürtel den Rumpf tragen oder wenigstens tragen helfen;

4) eine gerade, senkrechte Lehne gibt dem hervorragendsten Theile der Brustkrümmung der Wirbelsäule eine Anlehnung. Bei einer solchen Lehne ist der Wirbelsäule gar keine Unterstützung gewährt und Ruhelage ohne Muskelthätigkeit ist dann erst gegeben, wenn das Becken vorwärts gerutscht und die Brustkrümmung der Wirbelsäule an der Lehne abwärts gerutscht ist, bis die Wirbelsäule zwischen diesen beiden Punkten das Maximum ihrer Krümmung nach hinten (Vorwärtsneigung) erreicht hat.

Auf den gesundheitlichen Werth dieser verschiedenen Art von Lehnen genauer einzugehen ist hier nicht der Ort. Die Diskussion über die »Schulbankfrage« hat diesen Gegenstand genügend besprochen. Auch findet sich diese Sache in dem Aufsatze II. 7 weiter ausgeführt. — Es sei nur noch erwähnt, dass die in gesundheitlicher Beziehung als die zweckmässigste bewährte Fahrner'sche Schulbanklehne mehrere der oben aufgestellten Unterstützungsformen vereinigt. Sie trifft die Lendengegend in der Höhe der Ellenbogen; sie ist also eine »Lendenlehne«, welche die unter 1 und 2 aufgeführten Unterstützungsarten als eine Mittelform gleichzeitig, wenn auch nicht ganz rein, und zugleich die Möglichkeit des Aufstützens der Ellenbogen, wie oben unter 3 angeführt, gewährt.

Anmerkung. Ueber mehreres von dem in diesem Abschnitte Besprochene ist zu vergleichen I. 1, II. 7, II. 9 und II. 10.

6. Die Lage des Schwerpunktes in dem Körper.

In dem Vorhergehenden musste für Sicherung der Ruhe des Körpers in seinen verschiedenen Haltungen stets das Verlangen gestellt werden, dass sein Schwerpunkt eine entsprechende Unterstützung finde. Es wird dadurch die Frage angeregt, wo eigentlich der Schwerpunkt in dem Körper gelegen sei.

Bei der Beantwortung dieser Frage ist vor Allem einer sehr verbreiteten Meinung entgegenzutreten, welche dem Schwerpunkte eine unveränderliche Lage in dem Körper zuerkennt, fast so, als ob derselbe ein anatomischer Bestandtheil des Körpers sei.

Der menschliche Körper als ein Komplex einer gewissen Menge einzelner, beweglich unter einander verbundener Massen, kann einen absoluten Schwerpunkt nicht haben; sondern sein Schwerpunkt ist stets nur die Resultirende aus den Einzel-Schwerpunkten der einzelnen Bestandtheile des Körpers, und je nachdem diese sich in den verschiedenen Lagen und Haltungen des Körpers gegen einander gruppiren, muss ihre Resultirende, der gemeinsame Schwerpunkt des ganzen Körpers, eine verschiedene Lage haben. Seine Lage lässt sich daher immer nur für eine bestimmte Haltung des Körpers bestimmen.

Die Hülfsmittel hierfür sind zweierlei:

entweder man bestimmt empirisch den Schwerpunkt für die Gesammtmasse des Körpers in der fraglichen Haltung,

oder man findet ihn durch Konstruktion aus den Einzelschwerpunkten der Körpertheile.

Beide Methoden sind für symmetrische Haltungen des Körpers dadurch beträchtlich erleichtert, dass eine der drei Ebenen, welche die Lage eines Punktes bestimmen, in diesen Fällen schon durch die Mittelebene des Körpers gegeben ist.

Der erste, welcher die Lage des Schwerpunktes in dem menschlichen Körper genauer zu bestimmen suchte, war Borelli (*de motu animalium*. Rom. 1600). Er bespricht den Einfluss der Haltung auf dieselbe (*Propositio* 141 und 142) mit erläuternden Abbildungen, und bestimmt (*Propositio* 134) auf empirischen Wege die Lage des Schwerpunktes bei einem gerade ausgestreckten menschlichen Körper (*corporis humani in directum extensi*) als gelegen *inter nates et pubim*. Er bediente sich dabei der Methode, ein Brett, auf welchem der ausgestreckte Körper lag, auf einer Kante ins Gleichgewicht zu setzen.

Die Brüder Weber wiederholten den gleichen Versuch, jedoch mit der Vorsicht, dass sie nicht das Brett mit dem Körper äquilibrirten, sondern den Körper für sich auf dem äquilibrirten Brette (Mechanik

der menschlichen Gehwerkzeuge. Göttingen 1836. Seite 113—117). Sie kamen in der Hauptsache zu dem gleichen Ergebniss und bestimmten genauer die Lage des Schwerpunktes als 8,7 Millimeter über dem Promontorium.

Mit dieser Angabe war indessen die Lage noch nicht genau genug bezeichnet, denn es fehlte noch die Bezeichnung derselben in Bezug auf hinten und vornen, und doch ist gerade diese für das richtige Auffassen der Verhältnisse beim aufrechten Stehen von entschiedenster Wichtigkeit. — Ich habe deshalb neue Versuche unternommen, welche hauptsächlich auf die Aufklärung dieses Punktes gerichtet waren, und musste dafür die aufrechte Stellung benutzen, wie ich sie als »militärische« beschrieben habe. — Die Methode der Versuche bestand darin, dass ohne sonstige Veränderung in der Haltung eine Vorwärtsneigung im Fussgelenk so weit ausgeführt wurde, bis das Umkippen um die Metatarsusköpfchen der grossen Zehe drohte. Aus dieser Lage fand dann eine Rückwärtsbewegung statt (in der einen Versuchsreihe durch Bewegung im Fussgelenk, in der anderen durch Beugung im Kniegelenk) bis das Umkippen um den hinteren Rand der Ferse drohte. Da durch diese Bewegungen der Schwerpunkt über die ganze Länge des Fussgewölbes hingeführt worden war und da gleichzeitige Winkelmessungen darüber belehrt hatten, wie viel von der dazu nöthigen Bewegung vor der Ausgangsstellung und wieviel davon hinter derselben lag, so war es möglich, die Lage zu bestimmen, welche der Schwerpunkt in der Ausgangsstellung hatte.

Für die »militärische« aufrechte Stellung fand ich auf diese Weise die Lage des Schwerpunktes in dem zweiten Kreuzbeinwirbel oder unmittelbar über diesem im *canalis sacralis*. Die Schwerlinie, welche von diesem ausgeht, fand ich 5 Cm. hinter der Hüftaxe und 3 Cm. vor der Knöchelaxe hinabgehend.

Anmerkung: Vgl. hierüber meine Abhandlung »über die Mechanik des Kniegelenkes«. Müller's Archiv 1853.

Bei einer späteren Arbeit (I. 5) zeigte sich sodann, dass es für die in derselben unternommene Untersuchung nicht genügte, den Gesammtschwerpunkt zu kennen, sondern dass es von Vortheil sein müsse, die Einzelnschwerpunkte der einzelnen Theile des Körpers zu kennen und mit ihnen zu operiren. — Mit diesem Hülfsmittel konnte ich damals einige Hauptpunkte in meiner Konstruktion der Wirbelsäule gewinnen [1]. Ich reducirte Kopf, Rumpf und Beine auf einfache mathematische Figuren, in welchen sich durch Konstruktion oder Berechnung der Schwerpunkt nach gegebenen Gesetzen finden liess. Durch Vereinigung der Schwerpunkte von Kopf und Rumpf wurde sodann der gemeinsame

1) Vgl. I. 5.

Schwerpunkt für beide nach seiner Lage im Rumpf gefunden. — Bei bekannter Stellung der Beine war es dann möglich aus dem für diese gefundenen Schwerpunkte und dem allgemeinen Schwerpunkte des ganzen Körpers die Lage im Raum zu finden, in welcher der Schwerpunkt des Rumpfes liegen musste. War dann dem Rumpfe diejenige Stellung gegeben, in welcher sein Schwerpunkt in diese Lage gebracht war, so war damit die Haltung des Rumpfes im aufrechten Stehen gegeben. — Dieses Verfahren war die Hauptgrundlage für die Bestimmung der Haltung der Wirbelsäule, wie sie in jener Abhandlung beschrieben ist.

Dieselbe Methode weiter verfolgend führte ich sodann diese Zerlegung weiter fort und trennte namentlich auch noch den Rumpf im engeren Sinne in zwei Ellipsoïde, von welchen das eine den Thorax und das andere das Becken schematisirte; dadurch war die Möglichkeit gewonnen, durch Konstruktion die Lage des Schwerpunktes des Rumpfes in den verschiedenen Haltungen desselben zu bestimmen[1]. — Ferner wurden auch die Schwerpunkte der drei einzelnen Theile der Extremitäten bestimmt, indem auch diese auf einfache mathematische Formen zurückgeführt wurden, z. B. der Oberschenkel auf einen abgestumpften Kegel etc. Die Schwere der einzelnen Theilstücke fand sich in Krause's Handbuch der Anatomie angegeben; Lücken in diesen Angaben waren durch Vergleichung des Kubikinhaltes ohne Schwierigkeit ausgefüllt. — Mit diesem Material war es mir dann möglich, eine ganze Anzahl von Figuren in verschiedenen Haltungen und Stellungen zu komponiren und richtig zu unterstützen. — Um die Ausführung der Konstruktionen leichter zu ermöglichen, hatte ich indessen vorher die gegenseitigen Gewichtsverhältnisse der einzelnen Theile auf einfachere Zahlen zurückgeführt, nämlich:

Rumpf zu Kopf	13 : 2
Rumpf und Kopf zu beiden Armen	9 : 2
Rumpf, Kopf und Arme zu beiden Beinen . .	2 : 1
Oberer Theil des Rumpfes zum unteren . .	10 : 3
Oberarm zu Unterarm zu Hand	4 : 2 : 1
Oberarm zu Unterarm und Hand	6 : 5
Oberschenkel zu Unterschenkel und Fuss . .	2 : 1

Eine Auswahl dieser Kompositionen ist dann später mit eingezeichneter mathematischer Konstruktion in meinem Schriftchen: Die wechselnde Lage des Schwerpunktes in dem menschlichen Körper. Leipzig 1863 — veröffentlicht worden. — Man erkennt aus den dort gegebenen Zeichnungen, wie ausserordentlich wechselnd die Lage des Schwerpunktes je nach der Haltung des Rumpfes und der Gruppirung

1) Vgl. II. 10. Fig. 5, 6 und 7.

der Extremitäten ist, und wie daher die Unterstützung des Körpers für jede Haltung besonders eingerichtet werden muss. Damit ist aber zugleich manche sekundäre Haltung motivirt, z. B. die verschiedene Stellung der Beine, je nachdem der Rumpf in sich vorwärts oder rückwärts geneigt ist[1]).

Als ein Beispiel von der Art, wie mit Hülfe der Konstruktion der gemeinsame Schwerpunkt gefunden werden kann, mag nachstehende Figur 28 dienen, welche obengenanntem Schriftchen entnommen ist. —

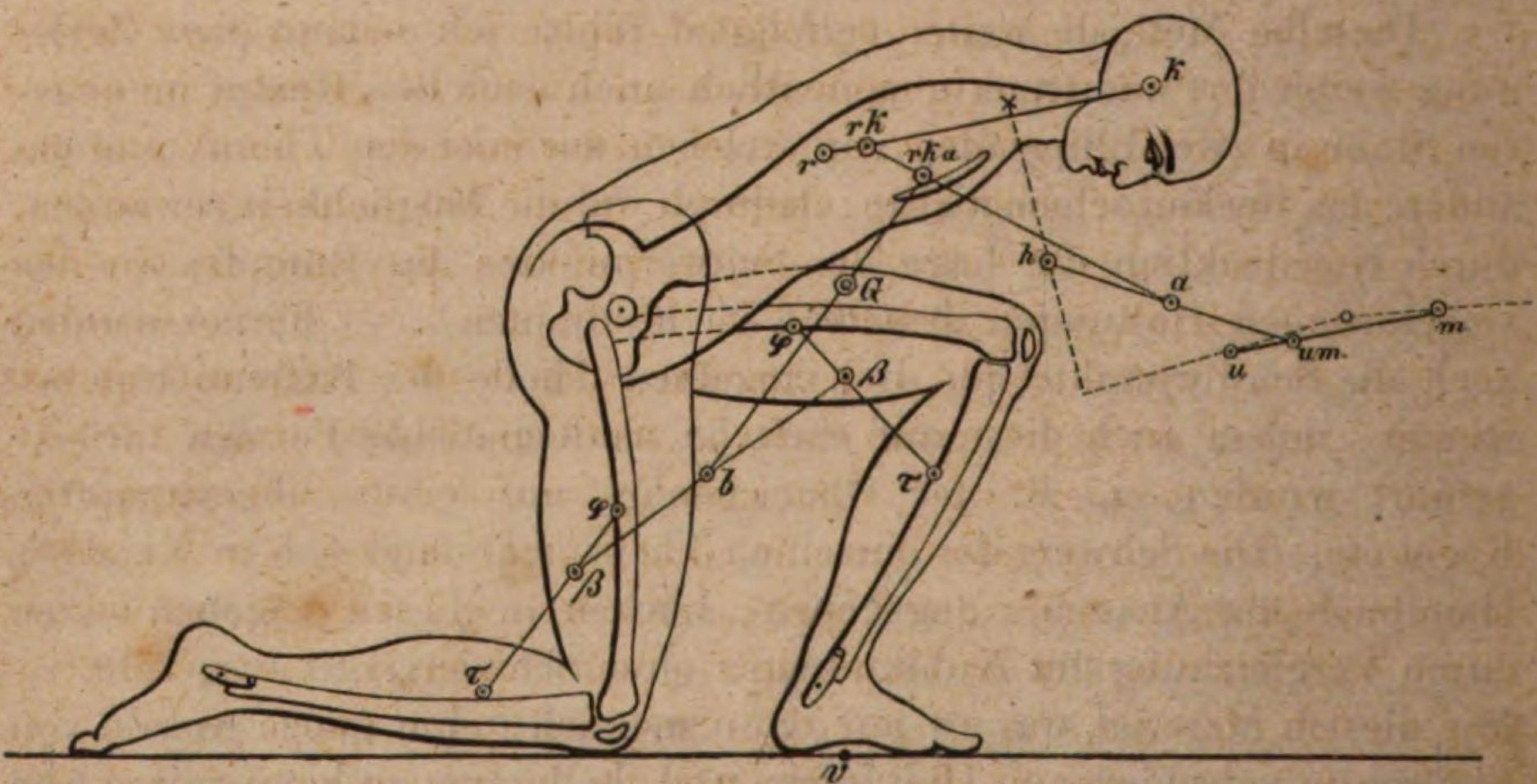


Fig. 28.

In dieser Figur sind die Schwerpunkte nach den in dem Abschnitt: »Vorbegriffe aus der Mechanik« gegebenen Gesetzen in folgender Reihe vereinigt: Schwerpunkt des Kopfes *k* und Schwerpunkt des in sich vorwärts gebeugten Rumpfes *r* zu dem gemeinsamen *rk*; — dann Hand[2]) *m* mit Unterarm *u* zum gemeinsamen *um*, dieses dann mit dem Oberarm *h* zu dem Schwerpunkt des ganzen Armes *a*. Da beide Arme in gleicher Lage gedacht sind, so ist in der gegebenen Ansicht *a* zugleich der Schwerpunkt für beide Arme, wofür ihm aber der doppelte Gewichtswerth beigelegt werden muss; — *a* mit *rk* vereinigt gibt den gemeinsamen Schwerpunkt *rka* für Rumpf, Kopf und Arme. Andererseits sind dann in beiden Beinen die Einzelschwerpunkte der Unterschenkel τ mit denjenigen der Oberschenkel φ zu den Einzelschwerpunkten der ganzen Beine β vereinigt; diese sind dann wieder zu dem gemeinsamen Schwerpunkt beider Beine *b* vereinigt. Durch die Vereinigung von *b* und *rka* ist dann endlich der

1) Vgl. II. 10. Fig. 8, 9 und 10.

2) Der ganze Arm ist im Interesse der Uebersichtlichkeit nur durch punktirte gerade Linien angedeutet.

gemeinsame Schwerpunkt des ganzen Körpers für diese Haltung in *G* gefunden, und dieser ist durch die Mitte des Fussgewölbes des vorgesetzten linken Fusses in *v* gestützt.

Für symmetrische oder annähernd symmetrische Stellungen genügt eine solche in der Profilansicht gegebene Zeichnung, für asymmetrische Stellungen sind noch Ergänzungen in der Ansicht von vornen nothwendig.

Bei der grossen Wichtigkeit, welche dieser Gegenstand für darstellende Kunst besitzt, hatte unterdessen auch E. Harless [1]), Lehrer der Anatomie an der Kunstschule zu München, die oben angegebene in I. 5 angewendete Methode für sich weiter geführt. Er gewann indessen die Einzelschwerpunkte durch Aequilibrirungsversuche mit den durch das Messer abgetrennten einzelnen Theilen. Seine Bestimmungen zeigen keine erwähnenswerthen Abweichungen von den von mir nach oben gegebener Methode gewonnenen.

Ein glücklicher Gedanke von ihm war es, in einem einfachen Schema die Massen-Vertheilung übersichtlich darzustellen, indem er die Gestalt des Körpers mit geraden Linien wiedergab, in diese die Einzelschwerpunkte hineinlegte und jeden derselben mit einer Kugel umgab, deren Grösse dem Gewicht des betreffenden Theiles entsprach. — Mit einiger Modifikation habe ich dasselbe in Taf. I meines Schriftchens über den Schwerpunkt wiedergegeben.

Harless hat seine Studien vorzugsweise darauf gerichtet, die Lage der Schwer**linie** zu finden, um damit den Künstlern Gelegenheit zu geben, ihre Figuren richtig zu stellen. — Um dieses in möglichst einfacher Weise für jede beliebige Stellung zu bewerkstelligen, hat er eine Art von Wage konstruirt, welche er auch in seinem Lehrbuch der plastischen Anatomie. Dritte Abtheilung. S. 71 abbildet. — Es ist ein in der Mitte seiner Länge im Gleichgewicht unterstütztes Brett; — auf der einen Seite desselben wird eine Anzahl von Gewichten aufgestellt, welche nach Anordnung und Grösse die Projektion der Einzelschwerpunkte auf den Boden darstellen; — und auf der anderen Seite wird dann der Punkt gesucht, auf welchem ein einzelnes Gewicht, welches gleich ist der Summe der Einzelgewichte, jener Anzahl von Gewichten das Gleichgewicht hält. Der gefundene Punkt in symmetrische Lage auf die andere Seite der Drehungsaxe des Brettes getragen, gibt dann unmittelbar die Projektion des allgemeinen Schwerpunktes auf den Boden im Verhältniss zu der Projektion der Einzelschwerpunkte.

1) Abhandlungen der k. bayer. Akad. d. W. II. Cl. VIII. Bd. 1. Abth. — 1857. — 2 Abhandlungen.

Die Wirbelsäule.

Die Wirbelsäule im engeren Sinne (ohne Kreuzbein und Steissbein) besteht bekanntlich aus einer Reihe von 24 einzelnen Wirbeln, welche sehr innig unter einander verbunden sind.

Als Haupttheil des Wirbels erscheint der Wirbelkörper und die Reihe der Wirbelkörper bildet, wie niedriger stehende Knochengerüste hinlänglich zeigen, die eigentliche Wirbelsäule; — die Bogen sind mehr accidentelle Gebilde, deren Anlagerung, beziehungsweise Verschmelzung mit den Wirbelkörpern im Stande ist, dem Rückenmarke einen genügenderen Schutz zu geben, als dessen Auflagerung auf die Wirbelsäule allein ihm zu gewähren vermag.

Der eigentlich massgebende Theil der Wirbelsäule kann daher nur die Reihe der Wirbelkörper sein; zwischen diesen findet sich denn auch die sehr feste und innige Vereinigung durch die Intervertebral-Symphysen. Durch diese Vereinigung, welche noch verstärkt wird durch die *fascia longitudinalis anterior* und *posterior*, wird dem einzelnen Wirbel seine Individualität so genommen, dass er nur als Theil des Ganzen eine Bedeutung gewinnt, und die Wirbelsäule wird dadurch der Prototyp einer »Knochenkombination«, welche ohne Rücksicht auf die einzelnen Theile nur als einheitliches Ganze beurtheilt werden kann und darf.

Die Reihe der Bogen ist übrigens ebenfalls zu einem einheitlichen Ganzen gestaltet, welches als gegliederte Platte [1]) aufgefasst werden kann. Hinter den schmaleren Wurzeln, welche die Intervertebrallöcher zwischen sich lassen, werden die Bogen plötzlich höher und sind hier unter einander durch die Gelenke der *processus obliqui* verbunden; die hinteren freien Theile der Bogenränder sind dagegen nur durch die *ligamenta flava*, die aus elastischem Gewebe gebildet sind, unter

1) Vgl. mein Lehrbuch III. Aufl. S. 40.

einander so vereinigt, dass die ganze Lücke zwischen je zwei Bogen vollständig ausgefüllt ist. Die Bogenreihe der Wirbelsäule bildet daher ein ähnliches einheitliches Ganze, wie die Körperreihe. — Will man den *ligamenta interspinalia* und dem *ligamentum apicum* noch eine Bedeutung als Knochenbänder beimessen, obgleich sie zu dem Systeme der *ligamenta intermuscularia* gehören, so kann man auch in diesen ein Hülfsmittel erkennen für Vereinigung der Bogen zu einem gegliederten Ganzen.

Die Bewegungen, deren die Wirbelsäule als Ganzes fähig ist, sind Beugungen nach allen Seiten hin und eine spiralige Drehung um die eigene Längenaxe. Für die Beugungen sind als typisch nur diejenigen nach den drei (beziehungsweise vier) Hauptrichtungen hinzustellen, nämlich nach vornen, nach hinten und nach der Seite.

Bei der doppelten Art der Verbindung zwischen den Wirbeln drängt sich zuerst die Frage auf, welche der beiden Verbindungen für die Bewegungen massgebend sein muss. Einerseits nämlich verlangt die Gelenkverbindung der *processus obliqui* diejenige Beachtung für Beurtheilung der Bewegungsrichtung, welche eine Gelenkverbindung überhaupt beanspruchen kann; — andererseits aber auch ist nicht zu übersehen, dass die Körperreihe eigentlich die Wirbelsäule im engeren Sinne ist und deshalb daran gedacht werden darf, dass dieser die Bewegungen primär zukommen und dass deshalb deren Zusammensetzung und Anordnung für die Bewegungen der ganzen Wirbelsäule massgebend werden muss.

Ich habe viele Mühe darauf verwendet zu ermitteln, ob die Gestalt und Lage der Gelenkflächen auf den *processus obliqui* die Bewegungsrichtungen der Wirbelsäule bestimmen können; ich habe indessen in dieser Beziehung kein brauchbares Ergebniss gewinnen können. Es ist nämlich in diesen Flächen zu wenig ausgesprochene Richtung und daneben auch so vielfacher Mangel an Kongruenz zwischen den einander berührenden Gelenkflächen, dass man bald erkennt, wie diese Gelenke nur die Bewegungen der Wirbelsäule gestatten und daneben in manchen Beziehungen regeln und modificiren können. — Die Bewegungen in ihnen können daher nur sekundäre Bewegungen sein, welche sich mit den in der Körperreihe ausgeführten Bewegungen verbinden.

1. Die Bewegungen der Wirbelsäule.

Die Möglichkeit der Bewegungen in der Körperreihe ist durch die sehr hohen Zwischenwirbelscheiben gegeben. Bei einer Biegung nach irgend einer Seite hin werden diese keilförmig, indem sie in der konkaven Seite der Biegung niedriger sind, als in der konvexen Seite derselben. Es entsteht nun vor Allem die Frage, wie sich die Zwischenwirbelscheiben

dabei verhalten, ob sie nämlich an der konvexen Seite eine Dehnung, oder an der konkaven Seite eine Zusammendrückung erfahren oder beides.

Die folgenden Tabellen zeigen die Ergebnisse mehrerer mit Bezug auf diese Frage angestellter Versuche.

Tabelle I.

Beugung:		nach rechts −	+	Winkel	nach links −	+	Winkel	Mittel. −	+	Winkel
Halswirbel.	II.	2,0	1,0	7° 22′	2,0	1,0	6° 38′	2,0	1,0	7° 0′
	III.	1,5	0,5	4 20	1,5	1,0	6 47	1,5	0,8	5 33
	IV.	1,3	0,8	5 12	1,3	1,8	6 48	1,3	1,3	6 0
	V.	1,5	1,0	7 5	2,0	1,0	6 17	1,8	1,0	6 41
	VI.	1,5	1,0	5 55	1,0	0,5	2 49	1,3	0,8	4 22
	VII.	2,5	0,5	5 7	2,0	0,5	3 58	2,3	0,5	4 33
Brustwirbel.	I.	2,0	1,0	4 55	2,5	1,5	5 55	2,3	1,3	5 25
	II.	1,5	1,5	4 40	1,5	1,5	2 58	1,5	1,5	3 49
	III.	1,5	1,5	4 37	1,0	1,5	3 41	1,3	1,5	4 9
	IV.	1,5	2,0	6 3	1,0	2,0	5 42	1,3	2,0	5 53
	V.	1,0	1,5	3 41	1,0	1,0	4 37	1,0	1,3	4 9
	VI.	1,0	1,5	4 20	1,0	1,0	3 28	1,0	1,3	3 54
	VII.	1,5	1,5	4 20	1,5	1,5	4 37	1,5	1,5	4 28
	VIII.	1,0	1,5	3 32	1,5	2,5	5 51	1,3	2,0	4 42
	IX.	2,0	2,5	5 43	2,0	2,0	5 41	2,0	2,3	5 42
	X.	2,0	2,0	5 7	2,0	2,5	5 3	2,0	2,3	5 5
	XI.	3,0	2,0	5 25	2,0	2,5	5 51	2,5	2,3	5 38
	XII.	3,5	3,0	6 43	4,0	4,0	8 36	3,8	3,5	7 39
Lendenwirbel.	I.	3,5	3,0	5 59	4,0	4,0	10 25	3,8	3,5	8 12
	II.	2,5	2,0	5 59	5,0	4,5	8 30	3,8	3,3	7 15
	III.	2,0	2,0	5 27	3,0	3,5	7 0	2,5	2,8	6 13
	IV.	4,0	4,0	7 42	2,0	3,5	6 8	3,0	3,8	6 55
	V.	7,5	6,0	7 9	5,0	7,0	6 35	6,3	6,5	6 52
							Summa	51,1	48,1.	

Tabelle II.

Beugung:		nach vornen	nach hinten	nach rechts		nach links	
Lendenwirbel	III.	− 2	+ 2	− 2	+ 2	− 2	+ 2
	IV.	− 4	+ 2	− 2	+ 2	− 2	+ 2
	V.	− 3	+ 2	− 0,5	+ 1,5	− 1,5	+ 2.

Tabelle III.

Beugung:	nach rechts		nach links		nach vornen		nach hinten	
1.	− 43,75	+ 43,75	− 44,25	+ 37,25				
2.	− 15,00	+ 25,00	− 15,00	+ 10,00				
3.	0	+ 30,00	0	+ 30,00	− 35,00	+ 35,00	− 15,00	+ 20,00.
4.	0	+ 25,00	− 5,00	+ 35,00				

Anmerkung: Die Masse in diesen Tabellen sind in Millimetern angegeben.

Tabelle I ist von der Wirbelsäule (ohne Rippen) eines 26jährigen Mannes gewonnen. Zur Gewinnung der Zahlen für die einzelnen Zwischenwirbelscheiben wurde durch die beiden angrenzenden Wirbelkörper je ein dünner Stahlstab durchgestossen und jederseits die Entfernung der an beiden Wirbelkörpern durch den Austritt des Stabes bezeichneten Punkte gemessen. Hierauf wurde durch den Assistenten eine seitliche Beugung nach rechts und nach links zwischen den beiden Wirbeln ausgeführt, indem die *processus transversi* mit den Händen angefasst einander genähert wurden. Nachdem dieses geschehen, wurde die Entfernung auf beiden Seiten auf's Neue gemessen. In den Minus-Reihen sind die auf der konkaven Seite entstandenen Abnahmen der Entfernung; und in den Plus-Reihen die auf der konvexen Seite entstandenen Zunahmen der Entfernung angegeben. — Durch entsprechende Messungen an den Enden der ca. 30 Centimeter langen Stahlstäbe wurde gleichzeitig das Material für Berechnung des durch die Biegung entstandenen Neigungswinkels zwischen den einander zugewendeten Symphysenflächen beider Wirbel gewonnen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung stehen unter »Winkel« angegeben. — In dieser Tabelle ist jede Zwischenwirbelscheibe mit dem Zahlnamen des über ihr liegenden Wirbels bezeichnet.

Tabelle II ist von der Wirbelsäule eines 30jährigen Mannes gewonnen; sie betrifft nur die drei untersten Intervertebralscheiben und deren Verhalten in der Vorwärtsbeugung, Rückwärtsbeugung und den Seitenbeugungen. Da die Wirbelbogen nicht entfernt waren, konnte bei der Vorwärtsbeugung nur die Höhenabnahme und bei der Rückwärtsbeugung nur die Höhenzunahme in der vorderen Mittellinie gemessen werden.

Tabelle III gibt die Messungen an vier Wirbelsäulen im Ganzen. Es waren: 1. diejenige des 26jährigen Mannes, von welchem Tabelle I gewonnen ist, — 2. diejenige eines 18jährigen Mannes, — 3. diejenige eines 14jährigen Mädchens, — 4. diejenige eines 37jährigen Mannes. — Bei der Wirbelsäule 3. waren die Bogen entfernt. — Die Messungen der Verkürzungen, beziehungsweise Verlängerungen sind an der ganzen Wirbelsäule mit Hülfe eines Rädchens ausgeführt, auf dessen Peripherie das Mass aufgetragen war. — Die aufgestellten Zahlen geben in Millimetern die Abnahme oder Zunahme des für den ruhenden Zustand gefundenen Masses.

Diese Tabellen können nicht geeignet sein, in allen Einzelnheiten ein ganz genaues Bild der Bewegungsmöglichkeit zwischen den einzelnen Wirbeln zu geben, weil sich bei der Gewinnung derselben nothwendig eine gewisse Menge von Fehlern einschleichen mussten. Die Kleinheit der Masse, die unvermeidlichen Ungenauigkeiten in dem Einstossen der Stahlstäbe für die Tabelle I, die unsichere Haltung während der Messung sind ebenso viele Fehlerquellen. Durch diese ist es auch bedingt, dass die Masse in Tabelle III. 1 und die Summe der Einzelnmasse von derselben Wirbelsäule in Tabelle I nicht stimmen, indem die mittlere Längenabnahme der ganzen Wirbelsäule nach Tabelle III. 1 nur 44 Mm. beträgt,

nach Tabelle I. dagegen 51, 1 Mm., und ferner die mittlere Längenzunahme nach Tabelle III. 1 nur 40,50 Mm., nach Tabelle I dagegen 48,1 Mm.

Wie unläugbar aber auch die unvermeidlichen Ungenauigkeiten in diesen Tabellen sein mögen, so geht doch mit Sicherheit aus denselben hervor, dass bei den Biegungen der Wirbelsäule in den Zwischenwirbelscheiben sowohl eine Kompression an der konkaven Seite als eine Dehnung an der konvexen Seite stattfindet, so dass man berechtigt ist, die neutrale Axe der Wirbelsäule in deren Mitte zu legen. Einzelne Messungen, namentlich Tabelle III. 3 und 4, weisen indessen darauf hin, dass individuell die neutrale Axe auch mehr seitlich gelegen sein kann, so dass bei den Biegungen in solchen Fällen mehr die Dehnung der Zwischenwirbelscheiben beansprucht werden muss, als deren Zusammendrückung.

Zugleich ist aber auch ersichtlich, dass in der Brustgegend, namentlich in der oberen Brustgegend, die Beweglichkeit zwischen den Wirbeln die geringste ist, eine Thatsache, welche sich hinlänglich aus dem Widerstande erklärt, welchen die oberen kurzen Rippen in ihrer starreren Verbindung mit dem Brustbeine der Bewegung der Wirbelsäule entgegenstellen müssen.

In Bezug auf die spiralige Drehung der Wirbelsäule zeigt der Versuch an einer freigelegten Wirbelsäule, dass die Drehung je zweier Wirbel auf einander weiter nach oben in höherem Grade möglich ist, als weiter unten, so dass also in der Lendenwirbelsäule die Drehung am geringsten ist, am stärksten dagegen an der Halswirbelsäule. Diese Thatsache stellt sich leicht heraus, wenn man in jeden *processus spinosus* einen Stift einschlägt und dann die spiralige Drehung ausführt. — Hierbei ist nun der Einfluss der *processus obliqui* unverkennbar, denn die senkrechte Stellung derselben in der Lendengegend muss hemmend für die Drehung auftreten, während dagegen die mehr horizontale Stellung in der Halsgegend dieselbe leichter gestattet. In der Brustgegend ist deren Stellung zwar auch eine senkrechte, aber die leichte Konvergenz der *processus obliqui* beider Seiten gegen hinten ist ebenso geeignet die Drehung zu gestatten, wie die in der Lendengegend zu findende Konvergenz gegen vornen hemmend werden muss.

Die öfter aufgestellte Angabe, dass die beiden unteren *processus obliqui* eines oberen Lendenwirbels zusammen einen Drehzapfen darstellen, welcher sich in der Hohlfläche bewegt, die durch die beiden oberen *processus obliqui* des darunter liegenden Lendenwirbels gebildet wird, — ist nur scheinbar richtig, indem dabei nicht berücksichtigt ist, dass die Symphysenscheibe eine solche Verzerrung nicht erfahren könnte, wie sie nothwendig wäre, wenn die Axe der spiraligen Drehung in den *processus obliqui* gelegen wäre.

Um die extremsten Stellungen der Wirbelsäule in Vorwärtsbeugung und Rückwärtsbeugung kennen zu lernen und mich dabei zugleich über die Art und den Grad der Beweglichkeit in den einzelnen Theilen der Wirbelsäule so weit möglich zu unterrichten, wählte ich folgendes Verfahren: Es wurde eine Wirbelsäule nebst Kopf, Thorax und Becken in der Mittelebene des Körpers durchsägt, sodann die eine Hälfte mit der Schnittfläche auf ein Brett gelegt und das Kreuzbein so wie das Schambein auf dasselbe festgenagelt; an diesem Präparate war es dann möglich, der Wirbelsäule die verschiedensten Stellungen zu geben und diese unmittelbar auf das Brett aufzuzeichnen; — für letzteren Zweck wurde die vordere Schnittlinie jedes Wirbels auf dem Brett durch Nachfahren mit einem Bleistift wiedergegeben. An den so gewonnenen Zeichnungen liessen sich theilweise die verschiedensten Stellungen vergleichen, theilweise die Wege konstruiren, welche einzelne Punkte der Wirbelsäule in der Bewegung durchliefen.

Mit Hülfe dieser Zeichnungen war zuerst die Bewegung der Wirbelsäule als Ganzes zu erkennen, indem derselben eine gerade Linie substituirt wurde. Als solche wählte ich die gerade Verbindungslinie zwischen dem Promontorium und dem *tuberculum anterius* des Atlas. Diese Linie beschreibt als Radius um den festen Punkt des Promontoriums einen Bogen von 71°, wenn die Wirbelsäule aus der extremsten Vorwärtsneigung in die extremste Rückwärtsneigung übergeht. Da aber an der Grösse dieses Winkels die starke Beweglichkeit der Halswirbelsäule einen unverhältnissmässig grossen Antheil hat, so benutzte ich noch eine zweite gerade Linie, nämlich die Verbindungslinie des Promontorium mit dem siebenten Halswirbel; und für diese Linie fand ich unter den gleichen Verhältnissen die Grösse der Bewegung nur 64°.

Die grösste Beweglichkeit zeigten die Lendenwirbelsäule und die Halswirbelsäule.

Die Halswirbelsäule kann in stärkster Beugung nach vornen so gestaltet werden, dass sie eine Konkavität nach vornen erhält. In einem genauer untersuchten Falle war diese Konkavität so, dass sie einen Bogenwerth von 40° zu einem Krümmungsradius von 165 Mm. hatte; ihre Pfeilhöhe betrug 10 Mm. und die Länge der Sehne 113 Mm. — In der stärksten Rückwärtsbeugung besass dagegen die nach hinten gerichtete Konkavität einen Bogenwerth von 124° zu einem Krümmungsradius von 68 Mm., die Pfeilhöhe betrug 35 Mm. und die Länge der Sehne 119 Mm. — Der Winkel zwischen den Sehnen beider extremer Stellungen war 99°. — Dass in der Rückwärtsneigung die Sehne bei grösserer Pfeilhöhe doch grösser war, erklärt sich aus dem früher angegebenen Verhalten der Zwischenwirbelscheiben. Die zur Bestimmung der Gestalt gewählte Linie war, wie vorher mitgetheilt, die vordere Mittellinie der

Wirbelkörper; in der Vorwärtsbeugung wurde diese durch die zusammengedrückte Seite der Zwischenwirbelscheiben ergänzt und in der Rückwärtsbeugung durch die gedehnte Seite derselben. Die absolute Länge der ganzen Mittellinie von dem unteren Rande des vorderen Bogens des Atlas bis zum unteren Rande des ersten Brustwirbels betrug deshalb in der Vorwärtsbeugung nur 115 Mm., während sie in der Rückwärtsbeugung 143 Mm. betrug.

Die Lendenwirbelsäule besitzt bei Weitem nicht die ausserordentliche Beweglichkeit, welche soeben als der Halswirbelsäule zukommend näher angegeben wurde. In der stärksten Vorwärtsneigung der Wirbelsäule besitzt die vordere Linie des dritten, vierten und fünften Lendenwirbels nebst den zwischenliegenden Zwischenwirbelscheiben immer noch eine nicht unbeträchtliche Konvexität nach vornen, deren Bogenwerth in einem bestimmten Falle 31° betrug; — in der stärksten Rückwärtsneigung war der Bogenwerth der bezeichneten Linie 67°. Der Krümmungshalbmesser der ersteren Stellung war ungefähr doppelt so gross wie derjenige der zweiten Stellung. — Der Winkel zwischen den Sehnen der beiden Stellungen betrug 31°.

Ist diese Beweglichkeit auch eine geringere als die der Halswirbelsäule, so ist sie doch der Beweglichkeit der übrigen Wirbelsäule gegenüber eine beträchtliche und gewinnt dadurch sehr an Bedeutung. — Es wurde oben mitgetheilt, dass eine gerade Linie von dem Promontorium zu dem siebenten Halswirbel zwischen den beiden extremen Stellungen einen Weg von 64° um das Promontorium als Mittelpunkt zurücklegt; — wenn nun erkannt ist, dass von dieser Bewegung schon nahezu die Hälfte mit 31° auf die Bewegung der drei unteren Lendenwirbel fällt, so ist unverkennbar, dass von der Bewegung zwischen den genannten Wirbeln die Stellung der ganzen Wirbelsäule vorzugsweise abhängig sein muss. — Man könnte beinahe mit einer allerdings etwas schroffen Schematisirung für die Vorwärts- und Rückwärtsbeugung der Wirbelsäule den drei unteren Lendenwirbeln zwischen dem Kreuzbein und der übrigen Wirbelsäule eine ähnliche Stellung zuerkennen, wie sie die Handwurzel zwischen Unterarm und Hand besitzt.

2. Die Haltungen der Wirbelsäule.

In statischer Beziehung hat die Wirbelsäule in ihrer im Ganzen aufgerichteten Stellung die Aufgabe, die Schwere des Körpers zu tragen, welche theils durch die Last des Kopfes und der Arme, theils durch den direkteren oder indirekteren Zug der Eingeweide gegeben ist. — Sie muss hierfür eine solche Stellung haben, dass sie im Stande ist, dieser Belastung Widerstand zu leisten, und dieses ist in zweierlei Weise möglich, nämlich:

1. sie findet in sich selbst die Mittel für diesen Widerstand, oder
2. sie findet noch Unterstützung durch andere Kräfte, welche ihre aufrechte Stellung erhalten helfen.

Bei der Beurtheilung dieser beiden Arten der Haltung ist natürlich gänzlich abzusehen von der Mitwirkung der Muskeln, welche direkter oder indirekter auf die Haltung der Wirbelsäule einwirken, denn dass durch Muskelthätigkeiten allein widerstandsfähige Haltungen der Wirbelsäule erzielt werden können, ist ebenso bekannt wie selbstverständlich, — und für die Kenntniss des Mechanismus der Wirbelsäule ist ein Hauptinteresse dafür, zu wissen, wie viel die Wirbelsäule für sich zu leisten vermag, und welche widerstandsfähige Haltungen sie einnehmen kann, ohne dass unmittelbare Einwirkung von Muskeln dieselben unterhalten.

In sich selbst kann die Wirbelsäule sich halten, wenn sie in solcher Weise aufgerichtet ist, dass die Belastung mit federndem Widerstande aufgenommen wird, und wenn zugleich die Lage der Schwerlinie eine solche ist, dass auch eine Verrückung derselben innerhalb gewisser Grenzen an dem Hauptverhältnisse der Unterstützung nichts ändert.

Dieser Bedingung wird entsprochen, wenn die Schwerlinie h i n t e r den unteren Lendenwirbeln herunterfällt. Es wird dann der ganze obere Theil der Wirbelsäule, den man sich vorläufig einmal als ein steifes Ganze denken mag, nach hinten hinunter gesenkt, bis die Spannung der Intervertebralscheiben zwischen den unteren Lendenwirbeln so gross geworden ist, dass sie einer weiteren Senkung eine Hemmung entgegenstellt. Die Lendenwirbelsäule trägt dann die Schwere des Rumpfes in ähnlicher Weise, wie die sogenannte »Schwanenhals-Feder« die Schwere des Kutschenkastens trägt. Schwankungen in der Lage des Schwerpunktes können an diesem Verhältniss nichts stören und die Haltung muss eine in sich ruhende sein, so lange der Bedingung genügt ist, dass die Schwerlinie h i n t e r den unteren Lendenwirbeln herunter fällt. — Als diejenige Grenze, welche nach vornen zu von der Schwerlinie nicht überschritten werden darf, ist die neutrale Axe der Lendenwirbel zu bezeichnen, so weit diese in dem vierten Lendenwirbel liegt, als demjenigen, welcher in der Wölbung am Weitesten nach vornen gelegen ist. — Nach den hierüber angestellten Untersuchungen [1]) stellt es sich heraus, dass wirklich ohne einen grossen Fehler der ganze Theil der Wirbelsäule von dem neunten Brustwirbel bis zu dem zweiten Lendenwirbel einschliesslich als ein steifes und unveränderliches Ganze angesehen werden kann, indem in den verschiedensten Stellungen der Wirbelsäule dieser Theil derselben in sich so wenig Gestaltveränderung zeigt, dass seine vordere Mittellinie niemals in irgend bedeutender Weise von der geraden Linie

1) Vgl. I. 5.

abweicht. — Dieser Theil der Wirbelsäule kann daher als ein unter allen Verhältnissen gerade bleibendes Stück angesehen werden, welches von seiner Gliederung nur den Vortheil hat, nicht vollständig starr zu sein, sondern eine gewisse Nachgiebigkeit zu besitzen. — Da nun der Schwerpunkt des Rumpfes ungefähr in die Gegend des neunten Brustwirbels zu liegen kommt, so ist damit das oben schematisch hingestellte Verhältniss gegeben: Die Schwere wirkt an dem oberen (hinteren) Ende des Stabes, welchen die sechs angegebenen Wirbel darstellen, und drängt dieses soweit herunter, bis die durch die drei unteren Lendenwirbel vermittelte elastische Verbindung des unteren Endes desselben mit dem Kreuzbeine durch ihre Spannung Widerstand leistet.

Für den oberhalb des neunten Brustwirbels gelegenen Theil der Wirbelsäule ist aber auch die Nothwendigkeit da, dass er eine Haltung habe, welche ihn befähigt, die Schwerelast der überliegenden Theile aufzunehmen. Dieses wird nun dadurch erreicht, dass dieser Theil der Wirbelsäule in ähnlicher Weise wie der Hals eines Vogels doppelt gekrümmt ist, nur mit dem Unterschiede, dass die dem Kopf zunächst gelegene Krümmung nach vornen konvex und die untere nach vornen konkav ist, während dieses Verhältniss bei dem Vogelhalse bekanntlich umgekehrt ist. — Für jede der beiden Krümmungen für sich kann auch ohne Zwang wieder eine besondere Bedeutung gewonnen werden, indem die Brustkrümmung durch Uebertragung mittels der ersten Rippe die Schwere der oberen Extremitäten trägt, und die Halskrümmung die Schwere des Kopfes. — Nach den mehr erwähnten Untersuchungen sind diese beiden Krümmungen so gestaltet, dass eine Senkrechte von dem *tuberculum anterius* des Atlas durch den unteren Rand des sechsten Halswirbels in den oberen Rand des neunten Brustwirbels geht. — Beide durch diese Linie geschiedenen Krümmungen haben einen Bogenwerth von ungefähr 40^0, wobei der Krümmungshalbmesser der Brustkrümmung etwa $1\frac{1}{2}$mal so gross ist, wie derjenige der Halskrümmung.

Eine in der angegebenen Weise gestellte Wirbelsäule ist im Stande, die Schwerelast des Rumpfes mit Kopf und Armen aufzunehmen und federnd zu tragen. Die einzige wichtigere Muskelmitwirkung, welche hierbei etwa noch nothwendig sein dürfte, würde diejenige der Nackenmuskulatur sein, welche einerseits zur Aequilibrirung des Kopfes Beihülfe leisten kann und andererseits die Halskrümmung durch ihren Zug muss unterhalten helfen.

Diese von mir zuerst aufgestellte Haltung der Wirbelsäule im aufrechten Stehen (vgl. I. 5) habe ich als die »militärische« bezeichet, weil sie allen Anforderungen an eine »militärische« Haltung in jeder Beziehung am Meisten entspricht.

Neben dieser Art der Ruhehaltung der Wirbelsäule steht als **zweite Art** diejenige, in welcher die Wirbelsäule nach vornen gelehnt ihre Stütze durch die Eingeweide, insbesondere die Baucheingeweide, findet. Stützt sich nämlich die Wirbelsäule nicht in der angegebenen Weise in sich selbst, sondern fällt sie, sich selbst überlassen, nach vornen, so muss mit ihr zugleich der Thorax nach vornen fallen und sich dem Becken nähern. Das Zwerchfell wird dadurch auf die Baucheingeweide gedrückt und diese werden gegen die Bauchwand gedrängt. Diese Bewegung muss aufhören, sobald der Widerstand, welchen die Spannung der Bauchwandungen geben muss, genügt, der in der Wirbelsäule wirkenden Schwere Gegengewicht zu halten. Genau genommen ist es also weniger das Lehnen der Wirbelsäule auf die Baucheingeweide, wodurch diese Haltung derselben zu Stande kommt, als vielmehr der (elastische) Widerstand der Bauchwandung gegen das Ausweichen der gedrängten Baucheingeweide.

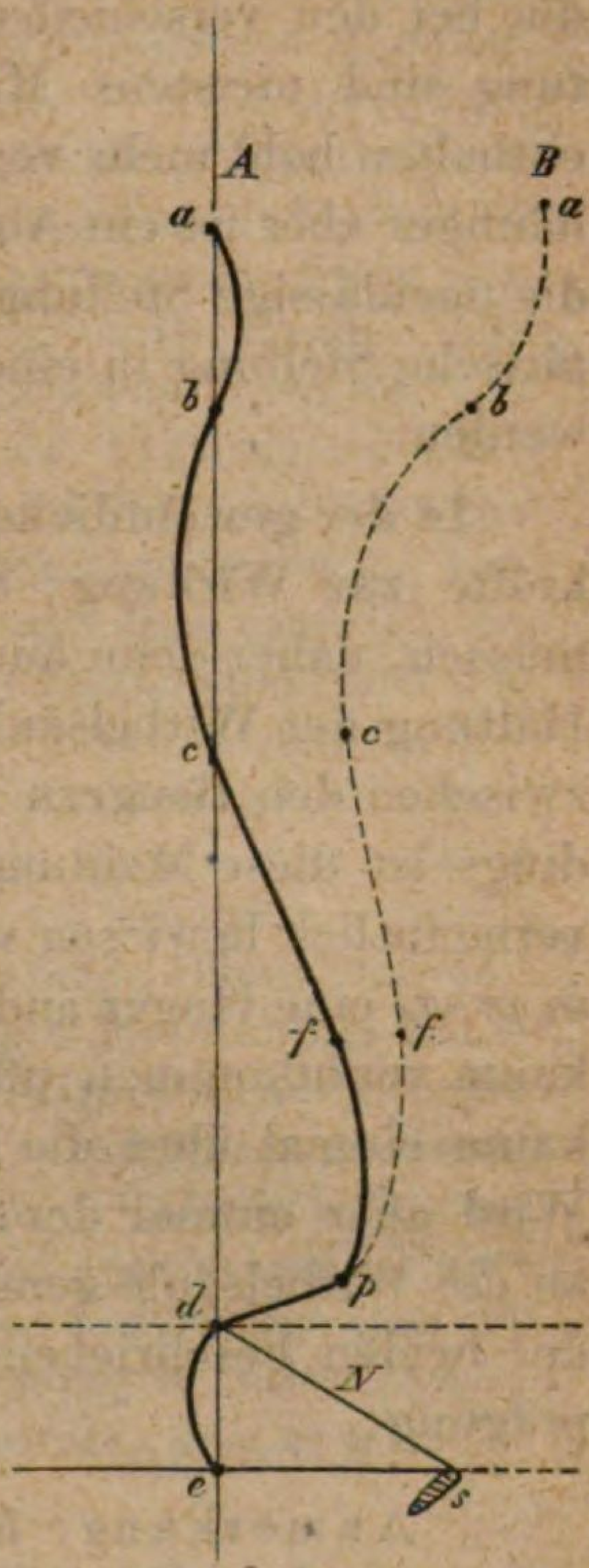


Fig. 29.

Um die erstbeschriebene »militärische« Haltung der Wirbelsäule zu Stande zu bringen, ist eine kräftige Thätigkeit, namentlich der Lendenmuskulatur nothwendig. Diese muss jene Haltung erst hervorbringen; ist sie aber einmal hervorgebracht, dann erhält sie sich durch sich selbst. — Wird diese Muskelthätigkeit nach dem Aufrichten, z. B. aus dem Sitzen nicht angewendet, so entsteht die zweite Art der Haltung, welche deshalb als die »**nachlässige**« bezeichnet werden kann.

Beide beschriebene Arten der Ruhehaltung der Wirbelsäule sind als die beiden **Extreme der Haltung** im aufrechten Stehen hinzustellen. Bei der einen Art ruht nämlich die Wirbelsäule in sich selbst, und bei der anderen Art stützt sie sich ganz auf Widerstände, welche ausser ihr gelegen sind.

Fig. 29. — *A.* »Militärische« Haltung der Wirbelsäule. — *B.* WEBER'sche Darstellung der Haltung der Wirbelsäule (zusammengesunkene »nachlässige» Haltung). *a. tuberculum anterius atlantis,* — *b* unterer Rand des VI. Halswirbels, — *c* oberer Rand des IX. Brustwirbels, — *f* unterer Rand des II. Lendenwirbels, — *p* Promontorium, — *d* Einknickungspunkt in dem III. Kreuzbeinwirbel, — *e* Steissbeinspitze, — *s* Durchschnitt der *symphysis ossium pubis,* — *N* Normalkonjugata. — Die dargestellte Linie ist die vordere Mittellinie der Wirbelkörper-Reihe.

Welche Haltung als die gewöhnliche angesehen, oder gar als typische deswegen bezeichnet werden soll, weil sie in der Mehrzahl der Individuen gefunden wird, lässt sich durchaus nicht sagen; — denn die bei den verschiedensten Individuen zu beachtenden Arten der Haltung sind meistens Mittelformen zwischen den beiden Extremen und enthalten bald mehr von der einen, bald mehr von der anderen Art. Noch häufiger aber ist ein Abwechseln der Art, dass ein Zusammensinken in die nachlässige Stellung und ein Wiederaufrichten in die strammere militärische Stellung in einer gewissen Reihenfolge nach einander beobachtet werden.

In der gewöhnlichen Haltung kommen deshalb auch immer Muskelkräfte zur Wirkung, welche korrigirend auf die Stellung einwirken müssen, daher denn auch vielfach die Meinung gehegt wird, die typische Haltung der Wirbelsäule komme nur durch den richtigen Antagonismus zwischen den Beugern und den Streckern derselben zu Stande. Neuerdings ist diese Meinung erst wieder durch DÜCHENNE[1] ausgeführt und vermeintlich bewiesen worden. — Richtig ist in dieser Meinung nur, dass *in praxi* eine länger andauernde ruhige Haltung in dem Stehen überhaupt kaum vorzukommen pflegt und dass insofern allerdings die Wirbelsäule kaum einmal über die Beeinflussung durch die Muskeln hinauskommt. Wird aber einmal der Anspruch längerer gleichbleibender Ruhehaltung an die Wirbelsäule gemacht, dann ergibt sich mit Nothwendigkeit eine der beiden beschriebenen Extreme in mehr oder weniger starker Ausprägung.

Anmerkung: In dem Obigen wurde der Satz aufgestellt, dass die von mir als »militärisch« bezeichnete Haltung der Wirbelsäule durch kräftige Muskelaktion (des *m. sacrospinalis*) hervorgebracht werden müsse, dann aber sich selbst erhalte durch das Gegeneinander-Wirken der Schwere und des federnden Widerstandes. Genaueren Beweises bedarf dieser Satz eigentlich nicht, nachdem erkannt ist, dass und wie die Schwerelast die fragliche Gestaltung der Wirbelsäule erhält, und nachdem es als unbestrittene Thatsache feststeht, dass eine jede Haltung durch Bewegungen mit Hülfe der Muskeln aus vorangehenden anderen Haltungen erzeugt werden muss. Es ist indessen doch von Interesse, dass gewisse Erfahrungen diesen Satz unmittelbar beweisen können. Eine solche Beobachtung ist diejenige, welche DÜCHENNE an dem oben angeführten Orte mittheilt, freilich um sie für seine Theorie des Muskularantagonismus zu verwerthen.

DÜCHENNE beobachtete nämlich einen Mann, dessen *m. sacro-spinalis* auf beiden Seiten gelähmt war. Die Folge von diesem Fehler war, dass er eine übermässig rückwärts gebeugte Haltung mit tiefer Einbuchtung der Lendengegend hatte und die Unterhaltung derselben noch dadurch sicherte, dass er die Arme nach rückwärts hinunterfallen liess. Es ist unverkennbar,

1) Vgl. hierüber meine Analyse von DÜCHENNE's Sätzen. II. 9.

wie ich auch in dem erwähnten Aufsatze ausgeführt habe, dass er zu dieser Haltung genöthigt war, um überhaupt aufrecht stehen zu können, und dass er sie noch besonders sichern musste, um sie nicht gelegentlich durch irgend eine Bewegung zu verlieren. Dieser Mann gibt das Princip der »militärischen« Haltung in schroffster Schematisirung zu erkennen und wird dadurch zu einem interessanten Beweismittel für die Richtigkeit desselben. — Nur eine Frage blieb in der Schilderung des Patienten unbeantwortet, welche, wie man denken muss, sich zunächst aufnöthigen sollte, — die Frage nämlich „wie es dem Patienten möglich war, die fragliche Haltung einzunehmen, wenn sein *m. sacro-spinalis* gelähmt war. — Auf diese Frage hatte ich Gelegenheit eine Antwort zu finden durch die Beobachtung eines ähnlichen Patienten, welchen mir mein Kollege Prof. Rose vorstellte. Es war ein ca. 14 jähriger Knabe, welcher, mit Lähmung des *m. sacro-spinalis* behaftet, ganz die von Duchenne beschriebene Haltung zeigte. Wurde dieser Knabe aufgefordert, etwas vom Boden aufzuheben, so bückte er sich danach und gewann dann seine frühere Stellung in folgender Weise wieder: Er fasste seine Unterschenkel mit den Händen und kletterte gewissermassen an denselben hinauf, indem er mit seitlichen Bewegungen durch die Bauchmuskeln abwechselnd die eine und die andere Seite des Rumpfes erhob und dadurch im Stande war, einen höheren Griff an seinem Unterschenkel derselben Seite zu nehmen; — nachdem er sodann die Kniee erreicht hatte, stemmte er beide Hände auf dieselben und erhob sich dann rasch durch gleichzeitiges Strecken des Knie- und Hüftgelenkes, während er zugleich durch eine heftige Streckung in den beiden Ellenbogen seinen Oberkörper rückwärts warf; — er führte gewissermassen eine Sprungbewegung mit seinen Armen aus. — Diese Erfahrung zeigt auf das Schlagendste, dass jene Haltung als die angemessene Ruhehaltung mit Bewusstsein gesucht und durch eine Reihe von Bewegungen mit Absicht herbeigeführt wurde, weil die normale Aktion des *m. sacro-spinalis*, welche sonst für sich allein dasselbe geleistet haben würde, gestört war.

3. Entstehung der Gestalt der Wirbelsäule.

Bekanntlich zeigt die Wirbelsäule des Erwachsenen auch in ihrer freiesten unbelasteten Lage, z. B. in ausgestreckter Rückenlage, die oben beschriebenen drei typischen Krümmungen. — Vergleicht man damit die Wirbelsäule des Neugeborenen, so vermisst man dieselben beinahe vollständig, sogar die Wölbung des Kreuzbeines ist nur angedeutet und von der Abknickung des Promontoriums ist Nichts zu sehen. — Die Krümmungen müssen sich demnach erst später ausbilden.

Bei dem Neugeborenen der Quadrupeden ist die Wirbelsäule ebenfalls gerade und erst in dem Erwachsenen zeigt sich die charakteristische Gewölbegestaltung des Brust- und Lendentheiles derselben. — Also auch hier wird diese Krümmung erst später ausgebildet.

Die beiden so sehr verschiedenen Gestaltungen der Wirbelsäule des Menschen und derjenigen des Quadrupeden bilden sich also mit der Zeit erst aus der im Wesentlichen bei beiden gleich gestalteten geraden

Gestalt; — und wenn sie ausgebildet sind, sind sie der statischen Bedeutung, welche ihnen zukommt, vollkommen entsprechend.

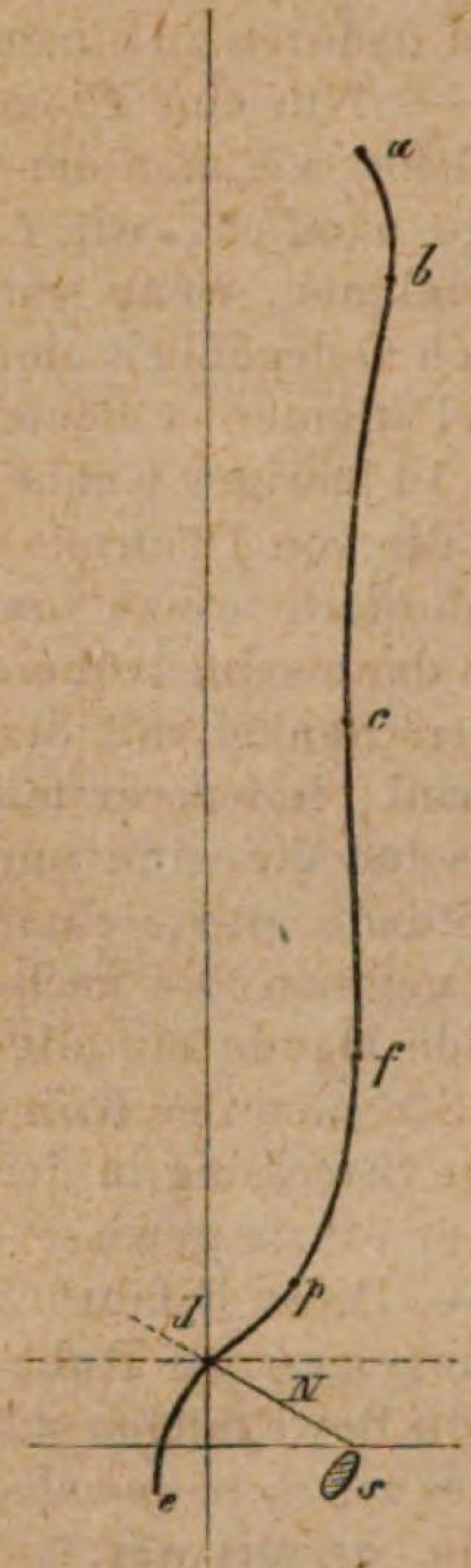


Fig. 30.

Die Wirbelsäule ist eine Knochenkombination, welche wegen ihrer Länge und Biegsamkeit sehr geeignet ist, durch freiwillige Muskelaktion die verschiedensten Gestaltungen anzunehmen. Es ist daher der Gedanke nahe liegend, dass jene Gestaltungen derselben ursprünglich dem Bedürfnisse der Zweckmässigkeit entsprechend durch freiwillige Muskelthätigkeit hervorgebracht werden und dann als habituelle Haltung bleiben. Die Beobachtung unterstützt diese Auffassung auf das Entschiedenste.

Bei den erwachsenen Quadrupeden kann man die Vermehrung der Gewölbekrümmung durch freiwillige Muskelthätigkeit nicht selten eintreten sehen, wenn die Ansprüche an Tragfähigkeit für dieselbe vorübergehend gesteigert werden. Ein Pferd hebt im Augenblicke der Belastung, z. B. durch einen Reiter, den Rücken in stärkerer Wölbung der Last entgegen, — und bei den verschiedensten Thieren, namentlich den schlankeren (Katzen, Mustela, langgebaute Hunde), sieht man im Sprunglauf eine stärkere Wölbung des Rückens eintreten, welche geeignet ist, den Ruck auszuhalten, den im Augenblicke des Aufspringens die Schwere des Rumpfes und namentlich der Eingeweide der Wirbelsäule geben muss. — Wenn man bei erwachsenen Thieren in solcher Weise eine gelegentliche Verstärkung der Rückenwölbung durch freiwillige Thätigkeit entstehen sieht, so wird man kein Bedenken tragen, die Entstehung dieser Wölbung überhaupt einer freiwilligen Thätigkeit in wiederholter Einwirkung beizumessen, und man wird eine Unterstützung dieser Auffassung darin finden, dass man junge Thiere nicht selten die Wölbung übertreiben oder ohne Noth ausführen sieht.

In der menschlichen Wirbelsäule ist es nicht schwierig zu erkennen, dass die Hauptkrümmung, diejenige der Lendenwirbelsäule, entstehen muss durch das Bestreben, den Schwerpunkt des Rumpfes hinter die Hüftaxe zu werfen, damit bei dem aufrechten Stehen ein Ueberschlagen des Rumpfes nach vornen nicht geschehen kann. An diese muss sich dann die Brustkrümmung als kompensirende anreihen, deren Entstehung

Fig. 30. — Wirbelsäule des Neugeborenen, vordere Mittellinie. — Bezeichnung wie in Fig. 29.

noch durch den Druck der Lungen begünstigt wird; und die Halskrümmung muss dann durch die Bestrebungen, den Kopf aufrecht zu tragen, hervorgebracht werden.

Anmerkung: Es ist von Interesse, dass man gar nicht selten noch Hinweisung auf die ursprüngliche indifferente Gestaltung der Wirbelsäule findet, indem bisweilen ein ordentliches Promontorium sich nicht ausbildet und die vordere Linie der Lendenwirbelsäule ohne scharfen Absatz in die vordere Linie des Kreuzbeines übergeht, weil der erste Kreuzbeinwirbel noch in die Lendenconvexität mit hereingezogen ist, oder weil der letzte Lendenwirbel eine Annäherung an die Anordnung des ersten Kreuzbeinwirbels zeigt; im letzten Falle findet sich an dem letzten Lendenwirbel auch häufig einseitig oder zweiseitig eine Veränderung des *processus transversus* der Art, wie sie an den Kreuzbeinwirbeln normal ist. (Vgl. das belastete Becken.)

Wenn es nun unverkennbar ist, dass die Wirbelsäule ihre bekannten Krümmungen erst nach der Geburt in Folge von ursprünglich freiwilliger Muskelthätigkeit erwirbt, so ist es sicher, dass diejenige Haltung derselben, welche das Princip, nach welchem die Krümmungen entstanden sind, am Reinsten erkennen lässt, auch als diejenige anzusehen ist, welche die Eigenthümlichkeit der menschlichen Gestalt am Schärfsten zeichnet. Diese Haltung ist aber die oben als »militärische« benannte, und es ist auch ohne Widerspruch anerkannt, dass sich in dieser Haltung die menschliche Gestalt am Schönsten und Edelsten darstellt. Kann doch sogar DÜCHENNE [1], der dieselbe als ein Symptom von Bauchmuskellähmung ansieht, die Gestalten solcher Personen, welche diese Haltung zeigen, nicht begeistert genug schildern.

Sollte eine der beiden in dem Früheren als die extremen aufgestellten Haltungen der Wirbelsäule vorzugsweise für normal erklärt werden, so müsste es demnach die »militärische« sein, weil sie die für den Menschen charakteristischste und deswegen typische ist.

Es muss nun noch die Frage entstehen, wie es komme, dass die Krümmungen der Wirbelsäule, nachdem sie eine Zeit lang wiederholt freiwillig hervorgebracht waren, habituell werden, so dass sie sich auch an der ruhenden, sowie an der aus ihren Verbindungen herausgenommenen Wirbelsäule zeigen.

Antwort geben die folgenden Beobachtungen.

Trennt man an einer herausgenommenen Wirbelsäule die Bogenreihe von der Körperreihe ab, indem man sämmtliche Bogenwurzeln durchschneidet, so findet man, dass die freie Bogenreihe nach der Trennung um 35—45 Mm. kürzer ist als vor derselben, und man erkennt als Ursache dieser Erscheinung die elastische Zusammenziehung der *ligamenta intercruralia*. — Eine Belastung von ca. 4 Pfund ist nothwendig, um die-

1) Vgl. II. 9.

selbe wieder in ihre ursprüngliche Länge zu strecken. — Die Lenden- und die Halskrümmung der Körperreihe ist durch die Operation bereits bedeutend abgeschwächt.

Nimmt man nun noch die *fascia longitudinalis anterior* und *posterior* weg, so sind die drei Krümmungen so verwischt, dass die Körperreihe gerade erscheint.

Diese Thatsachen zeigen zur Genüge, dass die Ursache des Bestehens der Krümmungen auch an der ruhenden Wirbelsäule nicht zu suchen ist in der Gestaltung der Wirbelkörper oder in derjenigen der Zwischenwirbelscheiben. — Messungen an einer grösseren Anzahl von Wirbelsäulen im frischen und im trockenen Zustande belehrten auch darüber, dass ein Unterschied in der Höhe der Wirbelkörper zwischen der vorderen und der hinteren Seite derselben nicht gefunden wird. — Die einzige entschiedene Ausnahme hiervon findet sich an dem untersten Lendenwirbel, dessen hintere Höhe bis zu 8 Mm. geringer sein kann als die vordere. Man überzeugt sich hierbei leicht, dass dieses Verhältniss dadurch bedingt wird, dass der hintere Theil der unteren Fläche dieses Wirbelkörpers durch den Druck gegen das Kreuzbein in der Entwicklung gehemmt ist. In gleicher Weise ist auch eine Entwickelungshemmung an der hinteren Seite des obersten Kreuzbeinwirbels zu bemerken. Beide Entwickelungshemmungen sind die Folge der Ausbildung der Promontorium-Knickung. — Bei verschiedenen Individuen findet sich übrigens eine geringere Höhe der hinteren Seite auch noch bei mehreren Lendenwirbelkörpern, namentlich gewöhnlich auch noch an dem Körper des vierten Lendenwirbels. Dass auch dieses die Folge einer Entwickelungshemmung durch den gegenseitigen Druck der Wirbelkörper in der Konkavität der Lendenkrümmung sein muss, ist leicht einzusehen und die vorkommenden Verschiedenheiten in der Grösse dieser Höhendifferenzen und in ihrem Vorkommen bei einer grösseren oder geringeren Anzahl von Lendenwirbeln erklären sich aus dem verschiedenen Grade, in welchem bei den einzelnen Individuen die Lendenkrümmung ausgebildet wird. — Jedenfalls aber sind die Höhendifferenzen zwischen vornen und hinten in der Lendenwirbelsäule nicht genügend, die Lendenkrümmung zu erklären.

Die oben mitgetheilten Beobachtungen geben nun aber Belehrung darüber, dass theils die *ligamenta flava*, theils die *fasciae longitudinales* die Krümmungen unterhalten.

Die *ligamenta flava* sind in der Verbindung der Bogenreihe mit der Körperreihe stets in einem gewissen Grade von elastischer Spannung und müssen deshalb einen beständigen Zug nach rückwärts ausüben. Die Stärke dieses Zuges muss sich aber nothwendig nach der Länge der Bänder im Ruhezustande richten, und diese wiederum nach der Möglichkeit

der Entwickelung, welche den Bändern gegeben war. In der Lenden- und der Halskrümmung müssen diese Bänder, weil sie in der konkaven, also kürzesten Seite gelegen sind, sich wenig in der Längenrichtung entwickeln und deswegen ein wichtiges Moment für Erhaltung der Krümmung abgeben, so wie sie auch nach Vorwärtsbeugungen durch ihre Elasticität eine Zurückführung in die frühere Stellung herbeiführen müssen.

In ähnlicher Weise entwickelt sich auch die *fascia longitudinalis anterior* bei stets unterhaltener Wirbelsäulenkrümmung und gewinnt dann als ein starrer Ueberzug der konkaven Seite der Brustwirbelsäule eine sehr wichtige Bedeutung für die Unterhaltung der Brustkrümmung. — Das gleiche Verhalten zeigt in Bezug auf Hals- und Lendenkrümmung die *fascia longitudinalis posterior*.

So wird also die freiwillig gesuchte und unterhaltene Haltung der Wirbelsäule Ursache für eine solche Entwickelung der Bandapparate derselben, dass diese zuletzt im Stande sind, für sich allein schon die Fortdauer der Haltung zu sichern.

Hierdurch erklärt sich denn auch in befriedigender Weise die Verschiedenheit in der habituellen Ruhehaltung verschiedener Individuen, indem nämlich durch das angegebene Verhalten der Bänder die individuellen Haltungen permanent gemacht werden; — und so müssen die Gewohnheitshaltungen entstehen, welche theils die früher bezeichneten Extreme, theils Zwischenformen zwischen diesen sind.

Anmerkung: — Schatz (Die Druckverhältnisse im Unterleibe. Jubelfestgruss zum 12. Aug. 1872. — Leipzig) äussert die sehr ansprechende Meinung, dass der vordere Längszug der Rumpfmuskulatur (*m. sternomastoideus* und *m. rectus abdominis*), welcher von dem *processus mastoides* zu dem Becken über die vordere Seite des Thorax geht, durch Druck auf diesen die Rückenwirbelsäule nach hinten treibt. In ähnlichem Sinne habe ich auch oben schon die Ausdehnung der Lungen als eine die Rückenwirbelsäule nach hinten treibende Aktivität bezeichnet. — Die Gestaltung der Rückenwirbelsäule ist hiernach mehr noch als es oben geschehen ist, auf direct einwirkende Einflüsse zurückzuführen. — Dass ich mich in Bezug auf die Mitwirkung des Muskeltonus für die habituellen Haltungen der Wirbelsäule nicht, wie er meint, in Widerspruch mit ihm befinde, beweisen die Bemerkungen, welche ich in Früherem (Fixirung der Gelenke, — Vereinigungsweise der Elemente des Knochengerüstes, — Haltung der Schulter) über den Einfluss der Muskeln auf Unterhaltung von Haltungen als allgemein gültig ausgesprochen habe; — und dass er sich in Bezug auf die Bedeutung der »militärischen« Haltung nicht mit mir in Widerspruch befindet, beweist der Umstand, dass er selbst S. 66 diese Haltung als diejenige bezeichnet, welche die geringste Mitwirkung von Muskeln in Anspruch nimmt.

Wenn in dem zuletzt besprochenen wiederholt eine willkürliche Annahme von Haltungen erwähnt wurde, so ist darunter nicht zu verstehen, dass solche Haltungen auch beständig, so lange sie inne gehalten werden, durch bewusste und gewollte Muskelthätigkeiten unterhalten werden. Es ist in dem Früheren bereits ausgeführt, wie die beiden extremen Haltungen einen Ruhezustand der Wirbelsäule ohne darauf gerichtete Muskelthätigkeit bezeichnen; bewusste und gewollte Muskelthätigkeiten sind nur nothwendig, um diese Zustände herbeizuführen oder die Bedingungen zu ihrem Zustandekommen zu geben. Auf diese Art von Muskelthätigkeit ist der Ausdruck »willkürliche Annahme« zu beziehen.

Von den beiden extremen Haltungen ist es aber begreiflicher Weise nur die »militärische«, welche eine entschiedene Aktivität für ihre Einrichtung nöthig hat, — der Charakter der »nachlässigen« Form besteht ja eben darin, dass die Wirbelsäule nicht aufgerichtet ist, sondern sich auf die Eingeweide nach vornen anlehnt. — Es wurde aber oben ausgeführt, dass die Krümmungen der Wirbelsäule allmälig gebildet werden durch die Bestrebungen, den Rumpf in sich und gegen die Hüftaxe in Bezug auf vornen und hinten zu äquilibriren. — Da diese Bestrebungen naturgemäss bei einem jeden Individuum eintreten müssen, so bilden sich auch bei einem jeden die bekannten typischen Krümmungen aus und müssen die Bedeutung des äquilibrirenden Tragens haben.

Diejenige Haltung, welche das Princip, durch welches die Krümmungen erzeugt werden, am Reinsten ausgedrückt und am Ausschliesslichsten als massgebend anerkennt, wird, wie oben schon bemerkt, deshalb auch von diesem Standpunkte aus als die eigentlich typische und vorzugsweise »normale« Haltung angesehen werden müssen. — Es ist dieses die »militärische«, und nach dem vorher Entwickelten kommen die Belastungsverhältnisse der Wirbelsäule, welche für sie massgebend sind, auch in der »nachlässigen« Haltung nicht ausser Wirkung, — sondern werden nur dadurch modificirt, dass die Schwerlinie des oberen Theiles des Rumpfes nicht entschieden hinter die neutrale Axe des vierten Lendenwirbels fällt, sondern in oder vor dieselbe. — Das Zusammenfallen der Wirbelsäule nach vornen, welches von dem letzteren Verhältnisse die nothwendige Folge wäre, wird dann durch das Anlehnen an die Eingeweide verhindert.

Die »nachlässige« Haltung als Extrem ist daher nicht dadurch charakterisirt, dass die Wirbelsäule entlastet von den Eingeweiden (oder den Bauchwandungen) getragen wird, — sondern dadurch, dass in ihr das Maximum der Theilnahme der letztgenannten Stütze an der Haltung der Wirbelsäule gegeben ist.

Die Wirbelsäule wird deshalb auch bei allen Individuen die Folgen ihrer Belastung und der federnden Aufnahme derselben zeigen müssen. Diese Folgen zeigen sich 1) vorübergehend bei demselben Individuum, — 2) bleibend bei demselben Individuum — und 3) bei abnormen Belastungs- oder Widerstandsverhältnissen, wodurch Kyphosen, Lordosen und Skoliosen entstehen.

Was die vorübergehenden Folgen bei demselben Individuum angeht, so ist es leicht zu verstehen, dass eine belastete Wirbelsäule anders gestaltet sein muss, als eine nicht belastete, wie ja auch eine belastete Feder anders gestaltet ist, als eine nicht belastete. Es lässt sich schon von vornherein denken, dass die aufrecht stehende (belastete) Wirbelsäule stärkere Krümmungen zeigt, als die liegende (nicht belastete). Da bei stärkerer Krümmung die Sehnen der Krümmungsbogen kleiner sein müssen, so muss, wenn Obiges richtig ist, auch die Wirbelsäule desselben Individuums im Liegen länger sein, als im Stehen. — Dass dieses wirklich der Fall ist, zeigen die folgenden einfachen Versuche[1]:

1) Bei einem Individuum von 166 Centimeter Höhe wurden durch Tinte zwei Punkte auf der Haut des Rückens bezeichnet. Der eine derselben lag an dem *processus spinosus* des achten Brustwirbels, der andere an einem hervorragenden Theile des Kreuzbeines. — Die Entfernung dieser beiden Punkte betrug in der ruhigen Seitenlage 340 Mm., im Stehen dagegen 310 Mm.

2) Bei demselben Individuum wurde in horizontaler Rückenlage der höchste Punkt der *crista ossis ilei* und die *vertebra prominens* auf den Boden projicirt. — Der Abstand beider Punkte betrug im Liegen 420 Mm., und im Stehen 405 Mm.

3) Demselben Individuum wurde in der horizontalen Rückenlage ein vierkantiges Lineal unter die Mittellinie des Rückens gelegt, so dass die beiden Enden desselben die Brustwirbelsäule und das Kreuzbein berührten. — Im Stehen betrug dann die Entfernung der Eindrücke der Enden in der Haut 20 Mm. weniger als die Länge des Lineales.

Diese Versuche zeigen trotz der Ungenauigkeit, die ihnen anhängen muss, weil die Haltungen des Versuchsindividuums nicht genau genug regulirt werden konnten, doch auf das Bestimmteste, dass ein beträchtlicher Längenunterschied zwischen der aufrechten und der liegenden Wirbelsäule vorhanden ist. In dem zu dem Versuche verwendeten Individuum betrug derselbe ohne Berücksichtigung der Halswirbelsäule $1/2$—1 Zoll. — Selbstverständlich muss dieser Unterschied noch beträcht-

1) Vgl. I. 5.

licher sein, wenn die Belastung eine bedeutendere ist, wie beim Lasttragen auf dem Kopfe oder auf den Schultern.

In Bezug auf die bleibenden Folgen der Belastung bei demselben Individuum ist auf die bekannte Erfahrung aufmerksam zu machen, dass ältere (senile) Individuen kleiner erscheinen, als sie in jüngeren Jahren waren. — Die Erklärung dieser Thatsache gibt sich leicht aus der Veränderung in der Gestaltung der Wirbelsäule. Es ist bekannt, dass Bänder, welche nicht gedehnt werden, nicht nur nicht entsprechend wachsen, sondern auch, wenn sie schon eine gewisse Länge erreicht hatten, kürzer werden. — Die Folge habitueller Haltung auf die Bänder der Wirbelsäule ist in dem Früheren bereits besprochen und dort erkannt worden, wie durch den Einfluss auf die Entwickelung derselben die häufig geübten Haltungen habituell werden müssen. — Fortgesetzte Uebung der Haltung muss nachher noch die erreichte Länge derjenigen Bänder, welche weniger Dehnungen ausgesetzt werden, vermindern und dadurch die Haltung stärker ausgeprägt werden lassen, und so müssen dann die vorhandenen Wirbelsäulekrümmungen mit der Zeit immer stabiler und schärfer ausgesprochen werden. — Für die entschiedener senile Verstärkung der Rückenkrümmungen dürfte indessen wohl noch ein anderes Moment massgebend werden, dass nämlich die allgemeine senile Rückbildung sich in solchen Bändern, welche weniger Dehnungen ausgesetzt sind, stärker einstellen muss. — Für die Vermehrung der Krümmung der Brustwirbelsäule wird übrigens ausserdem noch ins Besondere das senile Zusammensinken des Thorax wegen Marasmus der Lungen zur Erklärung hinzugezogen werden müssen.

4. Die Missgestaltungen der Wirbelsäule.

Von grosser praktischer Wichtigkeit werden die Folgen der Belastung der Wirbelsäule in solchen Fällen, in welchen die Wirbelsäule nicht die entsprechende Widerstandsfähigkeit besitzt oder die Richtung der Belastung habituell eine unrichtige ist, oder gar in denjenigen, in welchen beides gleichzeitig gefunden wird.

Die geringere Widerstandsfähigkeit zeigt sich in zwei Fällen in grösster Einfachheit und deren Folgen sind in diesen Fällen auch sogleich zu verstehen, so dass es nicht nothwendig ist, bei denselben länger zu verweilen; es sind die Fälle des Vorkommens von Osteomalacie und des Vorkommens von »Caries« der Wirbelkörper. — Bei Osteomalacie werden die Wirbelkörper durch den Druck der Belastung zusammengedrückt, mehr natürlich an der konkaven Seite als an der konvexen, und ihre periphere Knochenlamelle wird dabei gefaltet und zerknittert. — Bei »Caries« eines oder mehrerer Wirbelkörper wird bei der Heilung

die hierdurch entstandene Lücke in der Körperreihe durch Zusammensinken, unterstützt und geführt durch Narbenkontraktion, ausgefüllt; — da aber die unversehrt gebliebenen Bogen der zerstörten Wirbel Widerstand leisten, so muss das Zusammensinken nach vornen geschehen, indem sich der ganze nach oben von der Lücke liegende Theil der Wirbelsäule und des Rumpfes um eine in den Wirbelbogen liegende horizontale Queraxe nach vornen dreht. Die Bogen liegen dann in der ausspringenden Seite des Einknickungswinkels und bilden die Höhe einer stark nach hinten hervortretenden Wölbung, welche als »Pott'scher Buckel« bezeichnet wird. — Um diesen Haltungsfehler zu verbessern, findet dann, wenn, wie gewöhnlich, diese Erscheinung in der Brustgegend eintritt, eine freiwillige gewaltsame Rückwärtslehnung in der Lendenwirbelsäule und ebenso in der Halswirbelsäule statt, welche dann, habituell geworden, die schon relativ vermehrte Einsattelung der Lendengegend und des Nackens vermehrt. Zur Charakteristik der Erscheinung eines mit Pott'schem Buckel Behafteten gehört daher auch: ein sehr aufgerichteter Kopf und eine sehr steile Beckenneigung.

Eine sehr häufige auf Gestaltung und Entwickelung der Wirbelsäule einwirkende Ursache ist die schiefe Belastung. Eine solche ist vorzugsweise gegeben durch eine schiefe (seitlich gebogene) Haltung, wie sie beobachtet wird bei seitlichem Senken des Kopfes, namentlich in Verbindung mit Hebung der einen Schulter, für die oberen Theile der Wirbelsäule, — und für die unteren Theile derselben bei Sitzen auf einer schiefen Unterlage. Vereinzelt tritt eine solche auf durch mangelhafte Symmetrie der Belastung, z. B. durch Verlust eines Armes, — oder durch nothwendige Schiefstellung des Beckens, wenn z. B. ein Bein kürzer ist als das andere. — Die nächste Folge einer solchen schiefen (seitlichen) Belastung ist allerdings in erster Linie eine mehr oder weniger lokale seitliche Biegung der Wirbelsäule, — in zweiter Linie entsteht dann aber, wenn diese habituell wird, eine bogenförmige Biegung, deren Sehne senkrecht in der Mittelebene des Körpers steht, — in dritter Linie folgt dann wieder ein Ueberbiegen nach der anderen Seite, — dann wieder aus dieser eine bogenförmige Krümmung etc., so dass auf diese Weise die Folge der mangelhaften Länge eines Beines, z. B. eine schlangenförmige Biegung der Wirbelsäule sein kann mit drei seitlichen Verkrümmungen. Der Mechanismus für das allmälige Zustandekommen dieser Gestaltung ergibt sich leicht, wenn man das Bedürfniss berücksichtigt, immer möglichst aufrecht zu stehen oder zu sitzen und dabei eine möglichst genaue Aequilibrirung zwischen rechts und links einzuhalten. Es sei z. B. das rechte Bein kürzer als das linke. Dann wird im Stehen auf beiden Füssen die rechte Beckenhälfte tiefer gestellt sein, als die linke, und die Wirbelsäule muss nothwendig nach rechts geneigt sein. Da aber

hierbei eine symmetrische Aequilibrirung nicht stattfinden kann, so wird durch eine Abbiegung (mit Konvexität nach rechts) in der Lendenwirbelsäule der Kopf senkrecht über das Kreuzbein gestellt. — Diese Haltung wird nun habituell, und muss nach statischen Gesetzen sich nach und nach so verändern, dass die Abbiegung in der Lendenwirbelsäule zu stark und der Kopf somit zu weit nach links geneigt wird. — Durch dieses Verhältniss werden wieder Aequilibrirungsbestrebungen geweckt, es wird deshalb der Kopf wieder in senkrechte Lage über das Kreuzbein gebracht, indem der Brustwirbelsäule eine seitliche Abbiegung mit Konvexität nach links gegeben wird, — und es ist damit in der Brustgegend eine zweite Krümmung nach der der Lendenkrümmung entgegengesetzten Seite entstanden. Da diese durch das Bestreben entstanden ist, der seitwärts verbogenen Wirbelsäule eine im Ganzen gerade Haltung wieder zu geben, so wird diese sekundäre seitliche Krümmung als »kompensirende« bezeichnet. — Wie nun die Brustkrümmung in der angegebenen Weise als kompensirende Krümmung zu der Lendenkrümmung entstanden ist, so kann im weiteren Fortgange weiter oben in der Halsgegend noch einmal eine kompensirende Krümmung mit der Konvexität nach rechts nach den gleichen Gesetzen zu Stande kommen, so dass dann die Wirbelsäule in querer Richtung eine schlangenförmige Gestalt besitzt, der Rücken als Ganzes aber doch gerade erscheint.

Dieser Process kann an jeder Wirbelsäule vorkommen; vorzugsweise aber natürlich an jugendlichen noch im Wachsthum begriffenen. Besonders erleichtert muss aber die seitliche Verbiegung werden an rachitischen Wirbelsäulen, an welchen der Knochenkern der Wirbelkörper leicht an die konvexe Seite der Biegung ausweichen kann (vgl. II. 2).

Anmerkung: Ueber die Nothwendigkeit den Begriff der »kompensatorischen Krümmung« zu beschränken ist zu vergleichen: SCHILDBACH, die Skoliose. Leipzig 1872. —, in welcher Schrift viele treffliche Beobachtungen über die Entstehungsgründe und die ersten Andeutungen und Formen der Skoliose niedergelegt sind.

Bei den besprochenen seitlichen Verbiegungen (Skoliosen) wird noch dann, wenn sie an sehr jugendlichen Körpern eintreten (in einem Alter von höchstens etwa 14 Jahren) als eigenthümliche Erscheinung wahrgenommen, dass in dem gebogenen Theile die Wirbel eine spiralige Drehung zeigen der Art, dass in dem Scheitel des Bogens die Wirbelkörper viel mehr in die Konvexität hineingedrängt sind, als die Wirbelbogen. Desgleichen vermisst man auch an einer skoliotischen Brustwirbelsäule die normale kyphotische Gestaltung und sieht, dass die seitlichen Krümmungen mehr oder weniger in einer Ebene liegen (relative Lordose) oder dass gar eine absolute Lordose vorhanden ist. Skoliotische haben deshalb gewöhnlich einen auffallend ebenen Rücken. — In II. 5

und 6 habe ich nachweisen können, wie diese Erscheinung davon herzuleiten ist, dass die Körperreihe als nicht zusammendrückbar stets in die stärkste Konvexität gedrängt werden muss, während die zur Verkürzung geneigte Bogenreihe mehr der Konkavität genähert bleiben kann. — Aus demselben Grunde kann auch an der skoliotischen Brustwirbelsäule die kyphotische Ausbiegung nicht mehr bestehen bleiben, weil in dieser die Körperreihe in der kürzesten Linie (in der Konkavität) liegt. — Für genauere Ausführung muss ich auf genannten Aufsatz verweisen, und mache nur noch darauf aufmerksam, dass Thatsachen, welche ich ebenfalls dort angeführt habe, es wahrscheinlich machen, dass später als höchstens im 14. Jahre eine Skoliose der gewöhnlichen Form mit der spiraligen Drehung und der Lordose nicht mehr scheint entstehen zu können. — Reine Skoliosen in Folge verschiedener Verhältnisse können aber allerdings auch im späteren Leben noch entstehen.

Nach den Gesetzen, welche in Früherem aufgestellt sind über die Zunahme der Wirbelsäulenkrümmungen im Alter, ist es begreiflich, dass auch die skoliotischen Krümmungen im höheren Alter stärker werden und mehr in die Erscheinung treten müssen, wobei das Schwinden des Fettes auch noch eine vorher bestandene Verhüllung der Missgestaltung beseitigt. — Aus diesen Umständen entsteht denn eine sehr verbreitete Meinung, als ob Skoliosen als Alterserscheinung e n t s t e h e n könnten; wo sie im Alter w a h r g e n o m m e n werden, sind sie aber in der Jugend schon dagewesen, jedoch im geringeren Grade und durch Fett verdeckt.

Ein geringer Grad von Skoliose der Brustgegend mit Konvexität gegen rechts ist etwas so gewöhnliches, dass er als regelmässiges (normales) Vorkommen beschrieben zu werden pflegt. Das beinahe regelmässige Vorkommen dieser Krümmung berechtigt zu dem Schlusse, dass eine in allen Individuen wirkende Ursache derselben Entstehung gibt. Die meiste Wahrscheinlichkeit hat es für sich, dass diese Krümmung herzuleiten ist von der ungleichen Vertheilung des Gewichtes der Eingeweide, wobei namentlich die beträchtliche Schwere der Leber zu berücksichtigen ist. Diese Ansicht von der Grundursache jener »normalen« Brustskoliose ist noch sicherer begründet, seit STRUTHER's (*Edinburgh medical Journal.* Juni 1863) nachgewiesen hat, dass die Eingeweide der rechten Seite wenigstens 15 Unzen schwerer sind als diejenigen der linken Seite. Am koncentrirtesten muss dieses Mehr von Gewicht in der Leber wirken und die Entstehung der Krümmung erklärt sich mit dieser Thatsache ohne Schwierigkeit. Die Schwere der Leber muss nämlich den über dieser liegenden Theil der Wirbelsäule nach rechts herüber ziehen und die äquilibrirende Linksneigung des Kopfes und der Schultergegend bedingt dann die fragliche Krümmung.

Anmerkung 1. In dem Obigen ist in kurzen Umrissen der Versuch wiederholt, welchen ich bereits in II. 5 unternommen habe, — der Versuch nämlich, die Entstehung der Skoliose rein auf die statischen Verhältnisse der Wirbelsäule zurückzuführen. Ich komme dadurch in Widerspruch mit einer viel verbreiteten Ansicht, nach welcher die Muskeln (d. h. sogenannte Kontrakturen derselben) Hauptursache für Entstehung der Skoliosen sein soll. Diese Ansicht ist so verbreitet, dass Solche, welche sich nicht bewogen finden, sich ihr anzuschliessen, sehr häufig doch nicht den Muth haben, sich dagegen zu erklären und sich mit der bekannten Schaukel-Phrase durchzuhelfen suchen, »es müsse doch etwas Wahres daran sein«. — Zur Unterstützung meiner Auffassung darf ich deshalb nur darauf aufmerksam machen:

1) dass die Herleitung der Skoliose aus den statischen Verhältnissen der Wirbelsäule alle Erscheinungen derselben in leichter und ungezwungener Weise erklärt,
2) dass Muskelkontrakturen als Ursache der Skoliose nirgends nachgewiesen sind, und überhaupt auch das Vorkommen primärer Muskelkontrakturen sehr fraglich ist,
3) dass auch bei Annahme von solchen es eine sonderbare und nicht leicht erklärliche Erscheinung ist, dass kompensirende Krümmungen nach der entgegengesetzten Seite hin auftreten. Oder soll man, um jene Ansicht von den Muskelkontrakturen durchführen zu können, ein alternirendes Ueberspringen der Kontrakturen von rechts nach links und dann wieder nach rechts annehmen dürfen?
4) Vergleicht man ferner die Erscheinungen bei Quadrupeden, so sieht man auch bei diesen, dass Missgestaltungen der Wirbelsäule durch die statischen Verhältnisse, die dort geltend sind, unzweifelhaft entstehen. Ein Pferd, bei welchem Belastung und Widerstandsfähigkeit der Wirbelsäule in Missverhältniss stehen, wird »satteltief«, d. h. das Gewölbe der Wirbelsäule sinkt ein. — Oder wollte man für diese Erscheinung auch Muskelkontrakturen als Erklärung in Anspruch nehmen? — Wenn aber bei Quadrupeden Missgestaltungen der Wirbelsäule durch die bei diesen geltenden statischen Verhältnisse entstehen, warum die bei dem Menschen geltenden statischen Verhältnisse nicht auch bei der menschlichen Wirbelsäule Missgestaltungen hervorrufen können?

Der einzige Antheil an der Bildung der Skoliose, welcher den Muskeln beigemessen werden kann, ist der, dass freiwillige Thätigkeit derselben die äquilibrirenden Haltungen hervorbringen muss, die bei jenem Vorgange eine so grosse Rolle spielen. — Wollte man diesen Umstand zu Gunsten der Kontrakturentheorie geltend machen, so müsste man folgerichtig auch die liegende Haltung als Aeusserung von Muskelthätigkeit (oder -kontraktur) ansehen, weil man Muskelthätigkeiten braucht, um sich niederzulegen.

Anmerkung 2. Wenn auch die oben angegebenen Verhältnisse eine einmal gebildete Skoliose unterhalten und ihre Weiterbildung befördern müssen, so ist nicht zu übersehen, dass sekundäre Erscheinungen an den Wirbeln in der gleichen Richtung gelegentlich müssen wirken können, und in dieser Beziehung sind namentlich zu nennen:

keilförmige Gestaltung der Wirbelkörper in Folge gehemmter Entwickelung in der konkaven Seite der Krümmung,

Ankylosen der *processus obliqui* in der konkaven Seite, Folgen ohne Zweifel von Druckreizung in denselben.

Anmerkung 3. Die in den letzten Jahren so vielfach besprochene »Schulbankfrage« hat vorzugsweise das Ziel, eine Schulbank herzustellen, welche, die Nachtheile der bisher gebräuchlichen Schulbänke vermeidend, es gestattet, dass die normale Entwickelung der Wirbelsäule ungehindert geschehen kann. — Für diesen Zweck sind als leitende Grundsätze erkannt:

1) der Tisch soll so nahe an der Bank stehen, dass ein Anlehnen an denselben nicht nothwendig ist,
2) derselbe soll so niedrig sein, dass ein Schiefsitzen und gewaltsames Hinaufschieben des rechten Armes nicht nothwendig ist,
3) die Bank soll eine Lehne haben, um das Geradesitzen ohne Zwang zu gestatten und gelegentlich die Wirbelsäule ganz oder theilweise für den Zweck des Ausruhens zu entlasten. — Die Lehne kann dreierlei Art sein:
 a) die Kreuzlehne stützt das Kreuzbein oder die untersten Lendenwirbel, fixirt dadurch das Becken und ermöglicht dadurch ein ruhiges Geradesitzen,
 b) die Brustlehne (Rückenlehne) stützt den unteren Theil der Brustwirbelsäule und entlastet dadurch die Lendenwirbelsäule,
 c) die Lendenlehne (FAHRNER'sche Lehne) liegt in der Lendenkrümmung an, entspricht annähernd dem Zwecke der beiden vorher genannten Lehnen, — und gewährt daneben die Möglichkeit, die Ellenbogen aufzustützen und damit die Brustwirbelsäule zu entlasten.

Mit einer Schulbank, welche nach diesen Grundsätzen gebaut ist, ist es möglich, die Nachtheile (Krummsitzen, Schiefsitzen) zu vermeiden, welche bei schlechtem Baue der Schulbank nothwendig gegeben sind; — dazu gehört aber vor allen Dingen, dass der beaufsichtigende Lehrer auch von den Vortheilen des zweckmässigeren Baues Gebrauch zu machen den Willen hat.

Vgl. II. 7.

Der Kopf.

1. Haltung des Kopfes.

Der menschliche Kopf besitzt bekanntlich die ihm allein zukommende Eigenthümlichkeit, dass er von der Wirbelsäule getragen wird, indem er dieselbe von oben her in senkrechter Richtung belastet. Als relativ grosser Körper von rundlicher Gestalt ruht er auf einer relativ kleinen Unterlage. Es muss also hier zuerst die Frage entstehen, wie es möglich sei, dass unter solchen Verhältnissen der Kopf sich auf der Wirbelsäule in ruhiger Gleichgewichtslage befinde.

Die Brüder WEBER haben sich bereits dieselbe Frage gestellt und geglaubt, sie dahin beantworten zu sollen, dass der Kopf im labilen Gleichgewicht äquilibrire, indem seine Schwerlinie in den oberen Theil der Wirbelsäule falle. Sie bestätigten diese Auffassung durch den Versuch, indem sie fanden, dass ein abgeschnittener Kopf, welchen sie mit den Kondylen des Hinterhauptes auf die Endfläche eines aufrecht stehenden dünnen Cylinders stellten, im Gleichgewicht ruhend verharrte [1].

Dieser Versuch beweist indessen nur, dass die Möglichkeit dafür da sei, dass der Kopf unter gewissen Verhältnissen sich selbst im Gleichgewicht auf der Wirbelsäule halte. Welches diese Verhältnisse seien, ist leicht zu erkennen aus den Bedingungen, unter welchen überhaupt Ruhe im labilen Gleichgewicht zu Stande kommen kann. Es muss nämlich der Schwerpunkt senkrecht über der Unterstützung gelegen und selbst vollständig in Ruhe gehalten sein, weil sonst ein Umfallen die nothwendige augenblickliche Folge sein würde. — Als Unterstützung für den Schwerpunkt des Kopfes kann nun nur die gemeinsame Axe der beiden Kondylen des Hinterhauptes dienen, und zwar für die

1) Mechanik der Gehwerkzeuge. S. 97.

Beziehungen zu hinten und vornen die quere Axe derselben und für die Beziehungen zu den beiden Seiten die in der Mittelebene des Körpers von hinten nach vornen gehende Axe derselben. Wenn der Kopf über diesen Axen im Gleichgewicht liegt, so ist die Haltung desselben nach dem WEBER'schen Versuche »eine vollkommen aufrechte Stellung, das Gesicht gerade aus, kaum merklich nach aufwärts gerichtet, ungefähr so, wie wenn wir den Kopf sehr gerade tragen«. — Ob diese Haltung die gewöhnliche ist, oder nicht, darüber zu reden, wäre zwecklos. Es genügt zu wissen, dass es nur die eine Haltung ist, in welcher der Kopf auf der Wirbelsäule äquilibriren kann; und doch muss der Kopf in vielen anderen Lagen oft lange Zeit ruhig getragen werden. Es werden demnach noch andere Kräfte für diesen Zweck thätig sein müssen. — Jener Versuch gibt aber auch zugleich einen Wink über das Verhältniss der Lage des Schwerpunktes zu seiner Unterstützung auf der Wirbelsäule. Wenn nämlich eine geringe Aufrichtung des Kopfes in »sehr gerader« Haltung genügt, um denselben auf der Wirbelsäule zu äquilibriren, so muss der Schwerpunkt nach vornen von der Unterstützung gelegen sein, aber nicht weit nach vornen. Es ist demnach ein verhältnissmässig nur geringes hinter der Unterstützung wirkendes Gegengewicht nothwendig, um den Kopf auf seiner Unterlage in Ruhe zu halten. Ist diese Einwirkung der Art, dass sie leicht im Stande ist, den verschiedenen Lagen, welche der Schwerpunkt des Kopfes in der so sehr häufig angewendeten Vorwärtsneigung das Gleichgewicht zu halten, so kann die Feststellung des Kopfes nach dem Grundsatze des festgestellten Hebels stattfinden, und damit in einer gewissen Unabhängigkeit von der Lage des Schwerpunktes.

Als solche fixirende Kraft, welche den Kopf hinter seiner Unterstützung angreift, lässt sich aber allein die Nackenmuskulatur erkennen, und die Haltung des Kopfes ist deshalb als eine durch den »Tonus« der Nackenmuskeln bedingte anzusehen.

2. Die Schädelbasis.

Indem der Kopf mit einer gewissen Schwere auf der Wirbelsäule lastet, muss er nothwendig von dieser einen Gegendruck empfangen, welchen er dann in einer Weise aufnehmen muss, dass das Gehirn dadurch nicht geschädigt wird.

Für den Schädel des Erwachsenen erscheint die Frage, wie diese Aufnahme geschieht, fast müssig, weil hier das Hinterhauptsbein, welches zunächst den Gegendruck aufzunehmen hat, ein festes Ganze ist und überhaupt der ganze Schädel, auch wenn die Nähte noch nicht verwachsen sind, so fest gebaut ist, dass ein Zweifel darüber nicht sein kann, dass er im Stande ist, dem Gegendruck den nöthigen Widerstand zu leisten.

Anders ist es dagegen bei dem kindlichen Schädel, wo das Hinterhauptsbein aus mehreren Theilen zusammengesetzt ist und seine *pars basilaris* noch von dem Keilbeinkörper getrennt erscheint, und wo im Uebrigen auch in den anderen Theilen des Schädels noch nicht die entsprechende Festigkeit der Verbindungen gefunden wird. Dass die oben gestellte Frage hier allerdings eine Berechtigung hat, zeigen die Folgen, welche durch den Gegendruck der Wirbelsäule in der Gestaltung des Schädels und insbesondere der Schädelbasis in die Erscheinung treten.

Zur Erklärung dieser Folgen wird das Hinterhaupt am Besten als ein Kuppelgewölbe aufgefasst, welches auf seinem Scheitel die Belastung erfährt. Dass das Gewölbe mit dem Scheitel nach unten gerichtet und dass die Belastung ein von unten nach oben wirkender Gegendruck ist, ändert an diesem Verhältnisse gar Nichts. — In der Richtung von hinten nach vornen besteht dieses Gewölbe aus vier einzelnen Theilen, nämlich 1) der Hinterhauptsschuppe, 2) der in Zweizahl vorhandenen *pars condyloidea*, 3) der *pars basilaris* des Hinterhauptes und 4) dem Körper des Keilbeines; in der Querrichtung sind an die *pars condyloidea* und die *pars basilaris* die beiden Schläfenbeine angereiht.

Der von der Wirbelsäule ausgehende Belastungsdruck trifft zunächst die *pars basilaris* und die *partes condyloideae* des Hinterhauptes und drängt diese nach oben. Sind die Verbindungen zwischen den genannten Elementen des Gewölbes entsprechend feste, so pflanzt sich der Druck, ohne eine Gestaltveränderung zu veranlassen, in der Substanz des Gewölbes fort. Sind dagegen die Verbindungen, wie dieses bei Rachitis der Fall ist, loser, so wird der Winkel, unter welchem die *pars condyloideae* und die *pars basilaris* zusammenstossen, verflacht und die vordere Peripherie des Hinterhauptloches weiter in die Schädelhöhle hineingetrieben. Zu gleicher Zeit muss aber auch das Verhältniss dieser Theile zu den anstossenden Elementen verändert werden. Die *partes condyloideae* werden gegen die Hinterhauptschuppe abgeknickt, so dass die Verbindungsstelle beider als eine flache Leiste hervorsteht; und der *clivus* wird verflacht.

In höheren Graden der Wirkung wird auch noch der Körper des Keilbeines höher hinaufgeschoben, so dass der Sattel mehr nach oben gestellt wird [1]. Hier bleibt gewöhnlich die Missgestaltung des Schädels stehen und geht nicht weiter. Dass noch der Keilbeinkörper den bezeichneten Einfluss erfährt, rührt ohne Zweifel davon her, dass der Belastungsdruck mehr auf den vorderen mit dem Keilbeinkörper endigenden Theil des Gewölbes einwirkt, weil dieser mehr in der Richtung des Druckes selbst liegt.

1) Vgl. II. 2. S. 167—171.

Es finden sich aber auch bisweilen sonderbare Schädelgestalten, von welchen ich dreie kenne, welche sich am Genügendsten erklären lassen, wenn man in ihnen die am Weitesten gehende Wirkung des Gegendruckes der Wirbelsäule erkennen will. In diesen Schädeln steht das Hinterhaupt nach hinten beträchtlich über die Scheitelbeine hervor und die Ränder beider, welche die Lambdanaht zu bilden hätten, sind durch eine breite horizontal liegende Zone von Schaltknochen unter einander vereinigt. Ferner liegen auch die beiden Schläfenschuppen mit ihrem oberen Rande weit nach aussen gedrängt und in der *sutura squamosa* sind viele Schaltknochen, welche die dadurch gegebene Lücke zwischen den Scheitelbeinen und den Schläfenschuppen ausfüllen. — Man hat hier deutlich das Bild einer Flachlegung des Gewölbes mit Horizontalschub seiner Fusspunkte [1]. — Zur näheren Erläuterung dieser Verhältnisse

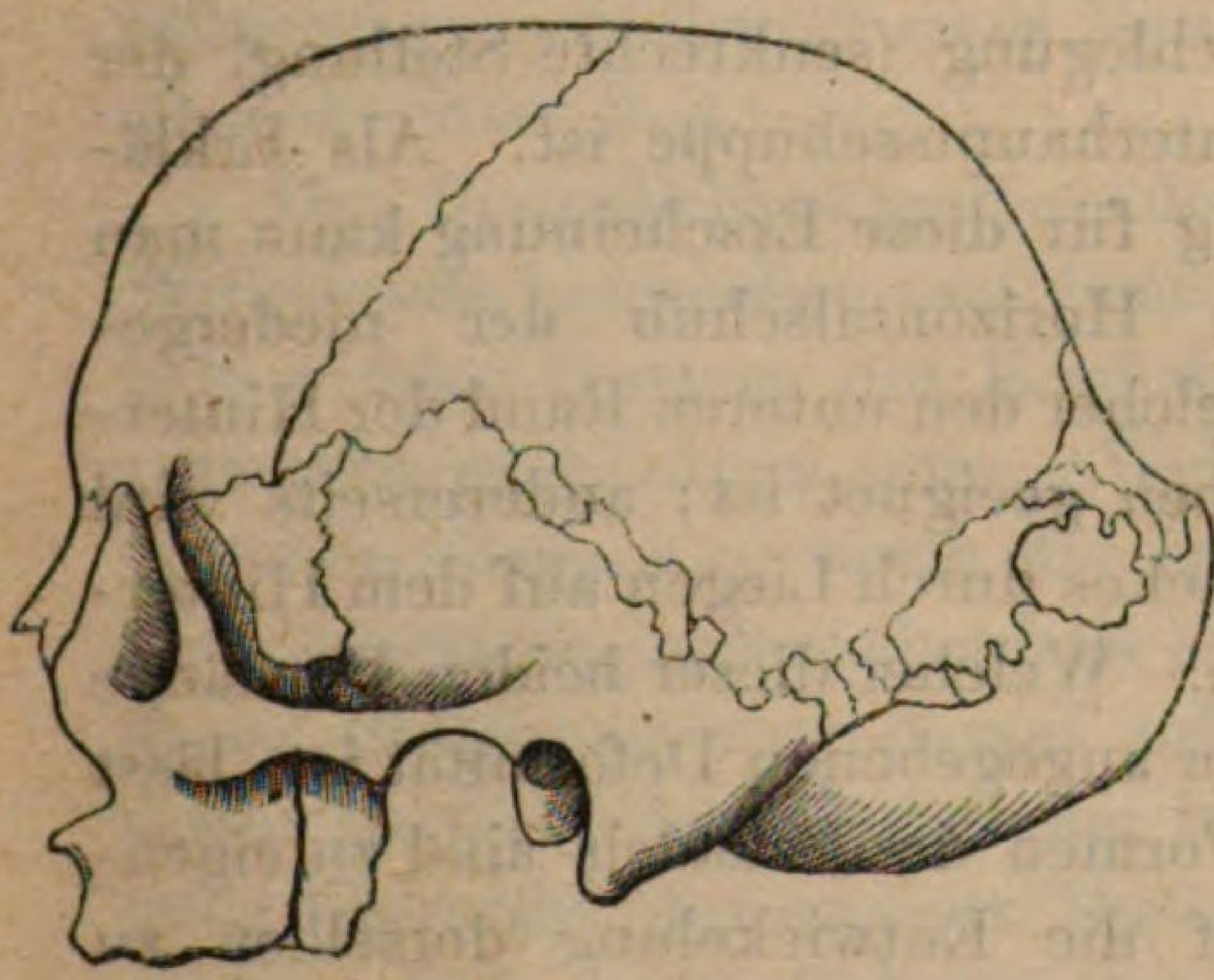


Fig. 31 *a*.

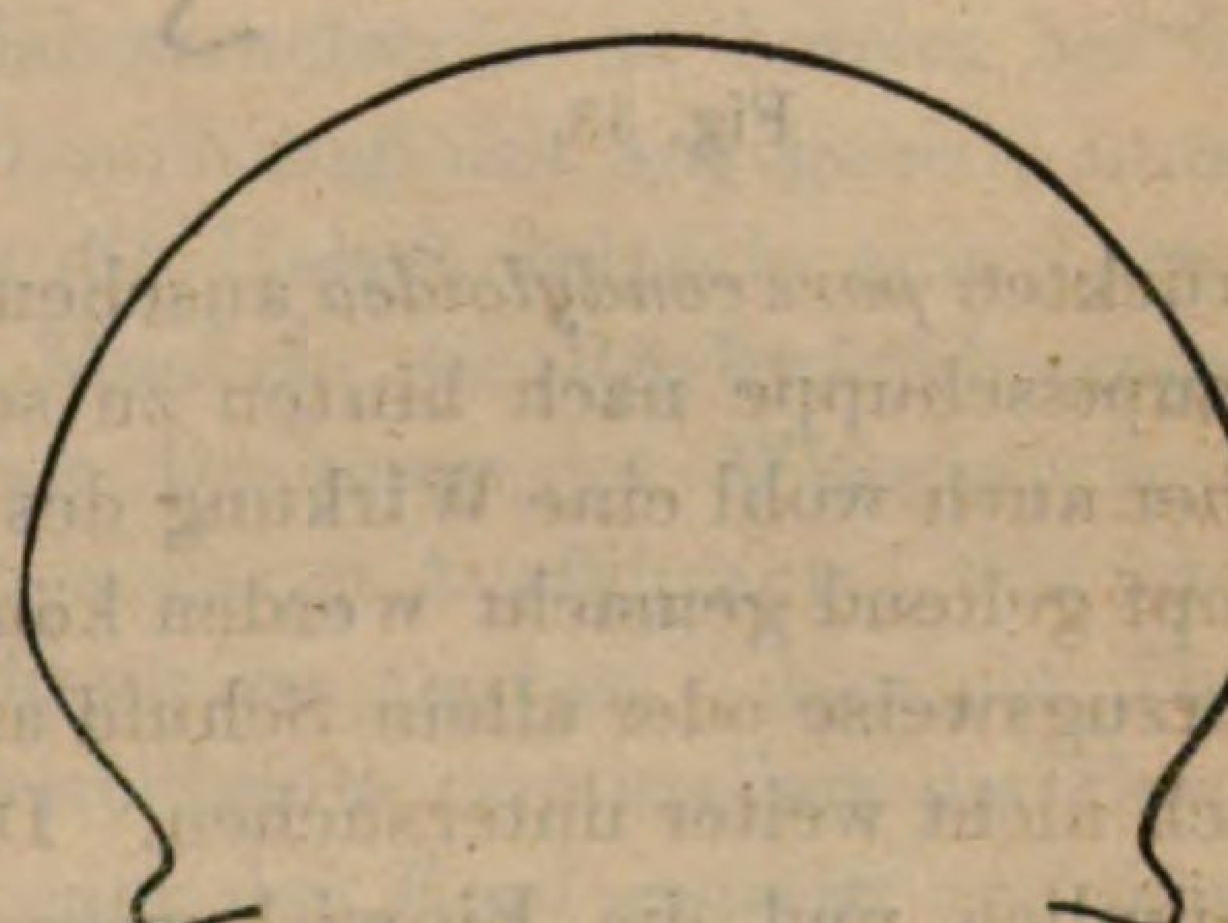


Fig. 31 *b*.

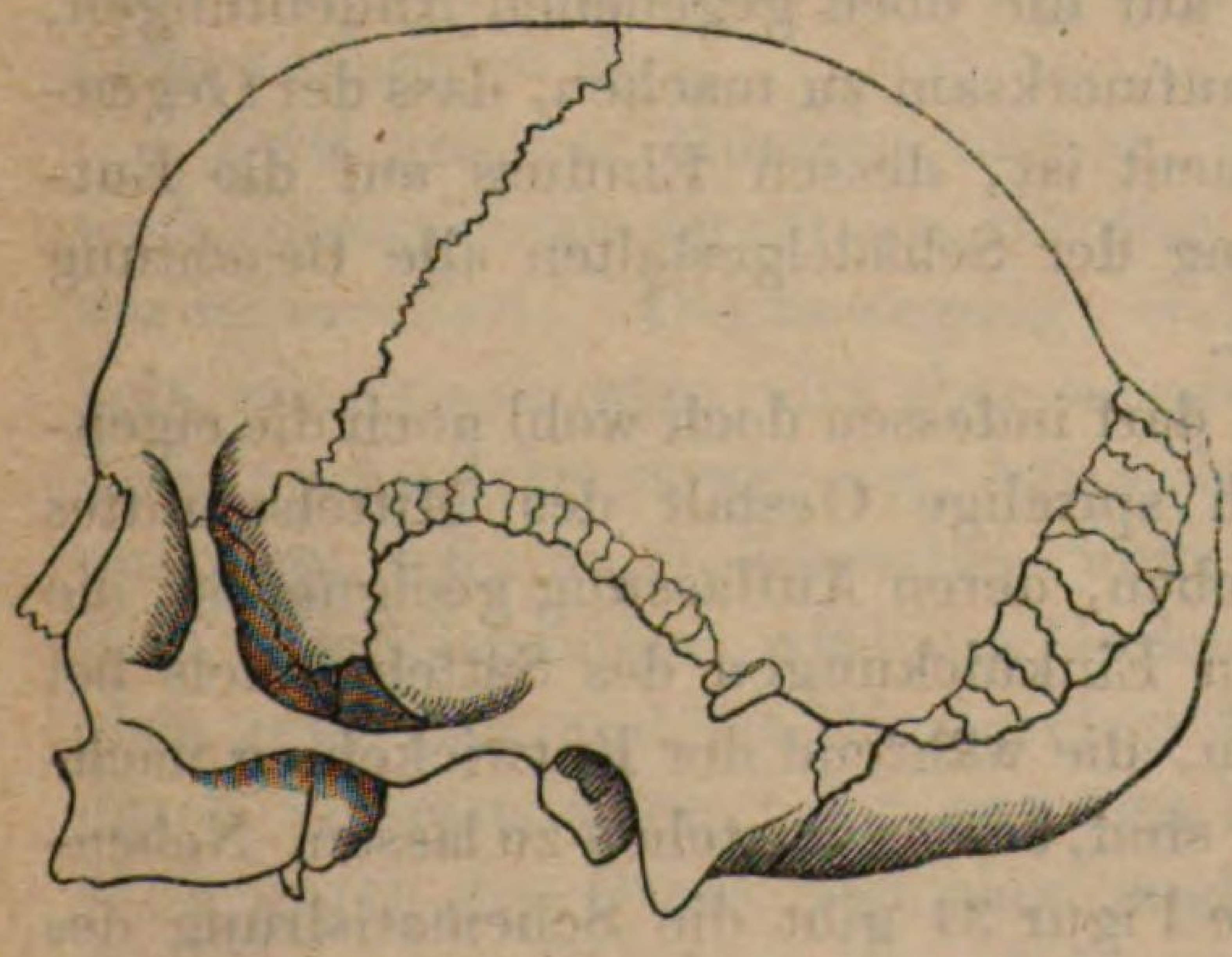


Fig. 32 *a*.

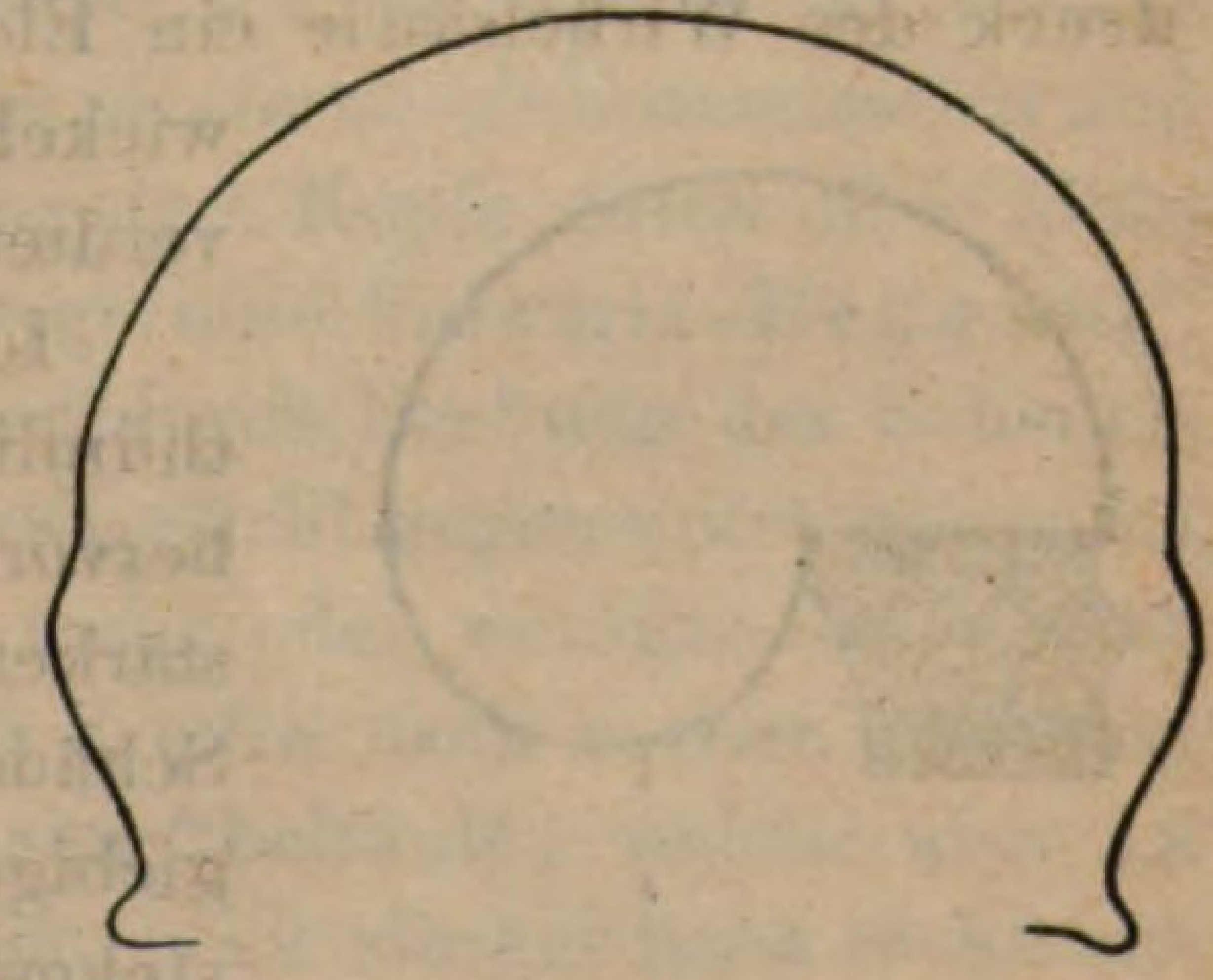


Fig. 32 *b*.

1) Vgl. III. 9.

gebe ich die Seitenansicht (*a*) von zweien dieser Schädel, welche beide dadurch verschieden sind, dass in dem mit 31 bezeichneten der Sattelwinkel sehr stark eingeknickt ist, während in dem mit 32 bezeichneten die Flachlegung des Hinterhauptes mehr hervortritt. Zugleich ist die durch Triangulirung gewonnene Zeichnung des Querschnittes (*b*) beider Schädel beigefügt, wodurch die Schieflage der Schläfeschuppe erkannt wird; zum Vergleich ist unter 33 die Zeichnung des Querschnittes eines normalen Brachykephalen beigefügt. Die Querschnitte sind senkrecht durch die Wurzel des Jochbogens gelegt.

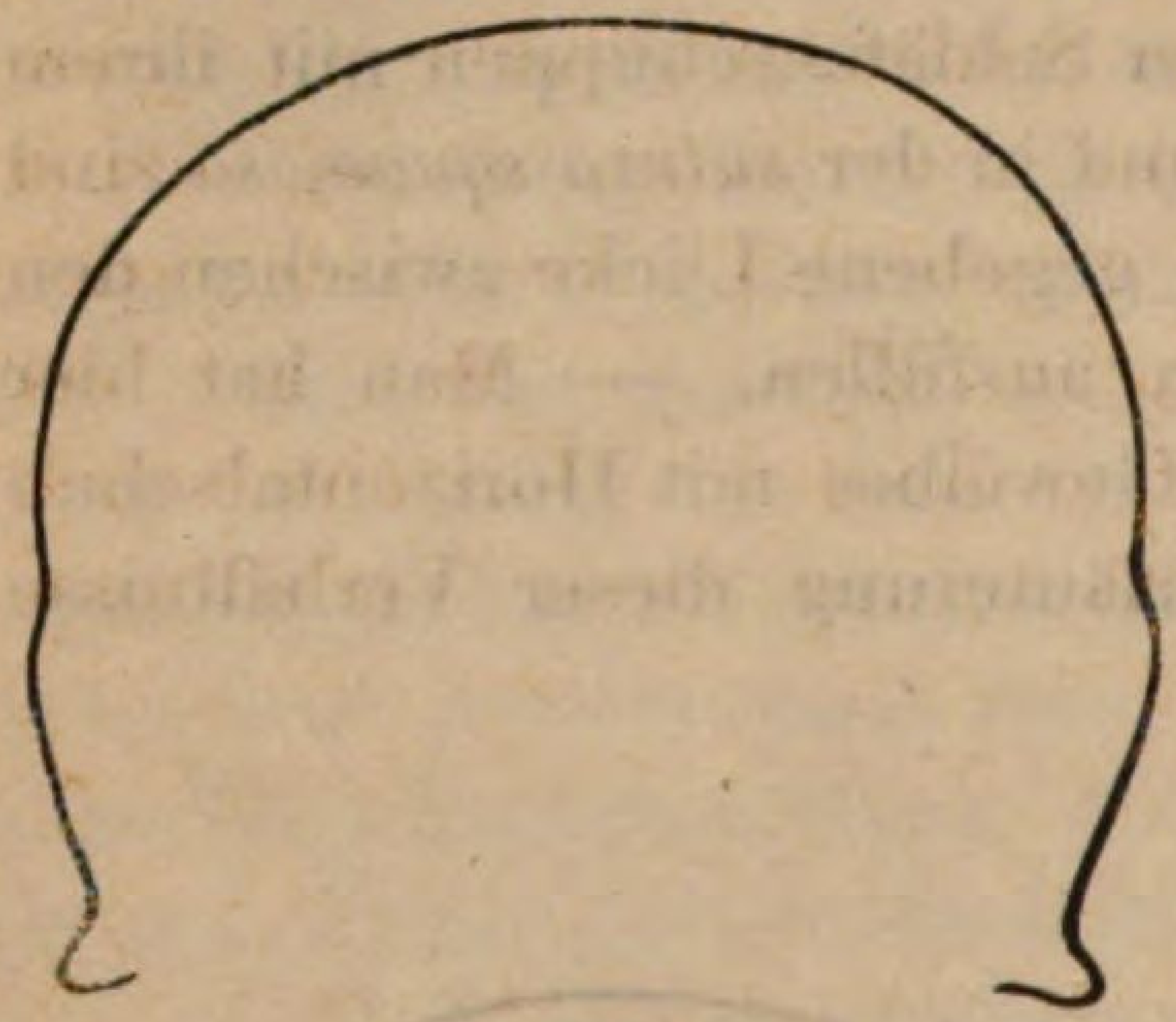


Fig. 33.

Noch zu erwähnen ist, dass eine sehr häufige Erscheinung an rachitischen Schädeln eine beträchtliche Flachlegung (senkrechte Stellung) der Hinterhauptsschuppe ist. Als Erklärung für diese Erscheinung kann man den Horizontalschub der niedergedrückten *pars condyloidea* ansehen, welcher den unteren Rand der Hinterhauptsschuppe nach hinten zu schieben geeignet ist; andererseits wird aber auch wohl eine Wirkung des Druckes durch Liegen auf dem Hinterkopf geltend gemacht werden können. Welcher dieser beiden Umstände vorzugsweise oder allein Schuld an der angegebenen Deformität ist, lässt sich nicht weiter untersuchen. Die Formen des Schädels sind zu eigenthümlich und die Einwirkungen auf die Entwickelung derselben zu mannigfaltig, als dass solche Fragen ohne grössere Vorarbeiten befriedigend behandelt werden könnten.

Ich beschränke mich daher auf die oben gegebenen Andeutungen, welche genügen werden, darauf aufmerksam zu machen, dass der Gegendruck der Wirbelsäule ein Element ist, dessen Einfluss auf die Entwickelung der Schädelgestalten alle Beachtung verdient.

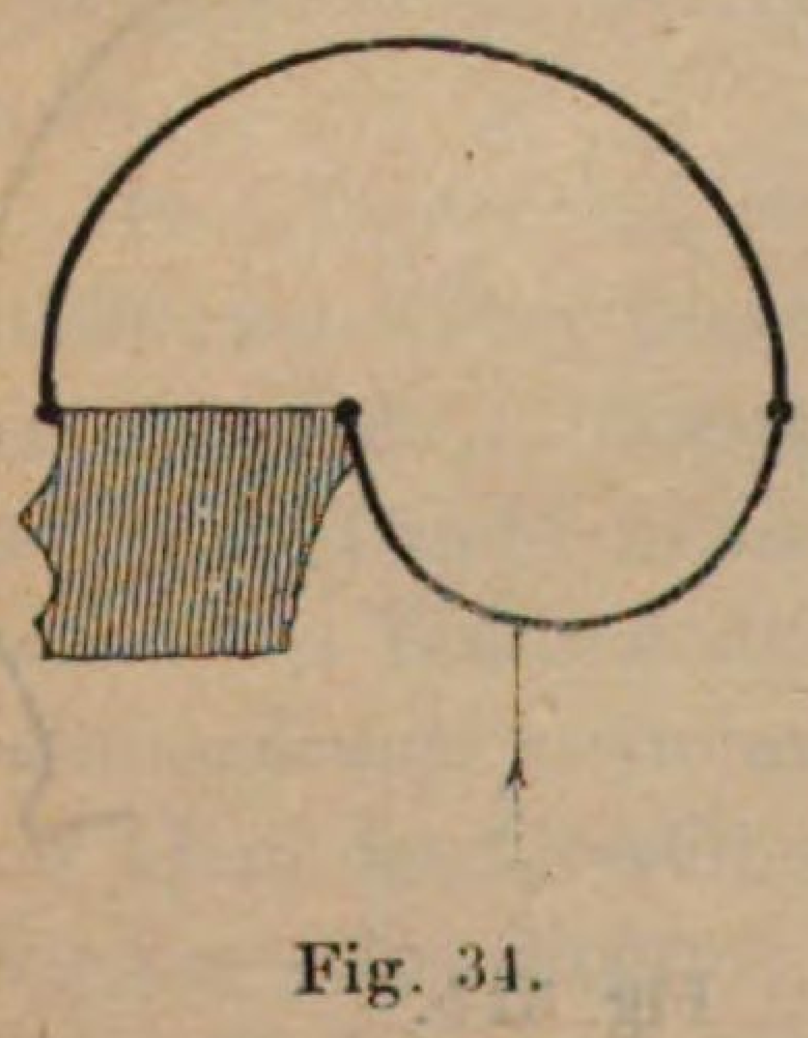


Fig. 34.

Ich darf indessen doch wohl noch die eigenthümlich spiralige Gestalt des Mittelschnittes hervorheben, deren Auffassung geeignet ist, die stärkeren Einknickungen des Sattelwinkels bei Schädeln, die während der Entwickelung nachgiebiger sind, besser verstehen zu lassen. Nebenstehende Figur 34 gibt die Schematisirung des Schädeldurchschnittes nach diesem Bilde.

3. Das Hinterhaupts-Gelenk.

Die Beweglichkeit des Kopfes als eines Ganzen hängt zunächst von der Beweglichkeit der Halswirbelsäule überhaupt ab, im Besonderen von der Beweglichkeit des Atlas auf dem Epistropheus; und sodann von der Beweglichkeit des Kopfes auf der Wirbelsäule. — Diese letztere Beweglichkeit beschränkt sich allerdings zunächst auf die Artikulation zwischen Atlas und Hinterhaupt, indessen ist die Artikulation zwischen Atlas und Epistropheus derselben doch so nahe gerückt und beide greifen mehrfach so in einander ein, dass man berechtigt ist, beide als ein durch einen Meniskus, den Atlas, getheiltes Gelenk anzusehen. Nur verträgt sich mit dieser Auffassung nicht der Umstand, dass der Atlas ein besonderes ihm gehöriges System kleiner Muskeln besitzt, während es zum Begriff eines Meniskus gehört, dass seine Bewegungen alle sekundäre sind.

Das Beweglichkeitsgebiet der Halswirbelsäule ist bereits bei der Wirbelsäule besprochen und damit also auch zugleich angegeben, innerhalb welcher Grenzen der Kopf durch die Halswirbelsäule eine Lagenveränderung erfahren kann. Welche Muskeln die Rückwärtsbeugung, die Seitenbeugung, sowie die spiralige Drehung der Wirbelsäule zu Stande bringen, bedarf ebenfalls keiner weiteren Ausführung. Nur ist in dieser Beziehung noch darauf aufmerksam zu machen, dass ein Theil dieser Muskeln den Theilen der Halswirbelsäule unmittelbar die Bewegung überträgt, ein anderer Theil dagegen den Kopf angreift und damit die Bewegungen der Halswirbelsäule als sekundäre hervorbringt.

Einige Schwierigkeit macht nur die Vorwärtsneigung des Kopfes, weil Muskeln, welche dieselbe mit einiger Kraft direkt ausführen können, nicht vorhanden sind.

Zwei grössere Muskeln sind es, welche die Bewegung des Kopfes nach vornen hinab vermitteln, nämlich der *m. sterno-cleidomastoideus* und der *m. cucullaris*. Die Bewegung, welche dem Kopfe durch diese Muskeln mitgetheilt wird, ist aber keineswegs eine Vorwärts-Beugung, d. h. eine solche Bewegung, bei welcher durch Drehung des Scheitels um einen tiefer unten liegenden Punkt das Gesicht gegen unten gewendet wird. Im Gegentheil wird das Gesicht mehr oder weniger dabei nach oben gewendet, und das Hinabziehen des Kopfes nach vornen geschieht durch Vorwärtsneigung der ganzen Halswirbelsäule, welche aber in sich durch den Druck von oben zugleich noch stärker nach rückwärts eingeknickt ist (Konkavität nach hinten). Dass dieses die Wirkung dieser beiden Muskeln ist, geht schon aus ihren Anheftungspunkten hervor und aus der schief nach hinten aufsteigenden Richtung derselben; dass dabei

die Halswirbelsäule in einen stärkeren Bogen gedrängt wird, ist ebenfalls leicht verständlich; und dass dabei der vordere Theil (Gesichtstheil) des Kopfes gehoben werden muss, geht daraus hervor, dass die Anheftung beider Muskeln hinter der Artikulation des Kopfes mit dem Atlas sich findet; — dieses letztere ist wenigstens entschieden mit dem *m. cucullaris* und dem *m. sterno-mastoideus* der Fall; der *m. cleidomastoideus* setzt sich mit seiner dünnen Sehne allerdings nicht hinter dem bezeichneten Gelenk an, aber auch nicht vor demselben, sondern daneben. In keinem Falle können also diese Muskeln den Kopf nach vornen herunter beugen; — die stärkere Knickung der Halswirbelsäule und das gleichzeitige Umlegen derselben nach vornen ist ferner noch direkte Seitendruckwirkung desjenigen Theiles des *m. cucullaris*, welcher über den Nacken hingelegt ist.

Die beiden genannten Muskeln würden aber dennoch durch ihre Einwirkung auf die Halswirbelsäule die Beugung des Kopfes gegen die Brust zu Stande bringen, wenn ihre krümmende Wirkung auf die Halswirbelsäule aufgehoben werden könnte; — und hierin besteht ohne Zweifel die Wirkung des *m. longus colli* und des *m. rectus capitis anterior major* (die direkt beugende Einwirkung des letzteren auf den Kopf im Atlasgelenk einstweilen ausser Acht gelassen). Beide Muskeln sind zu schwach und zu ungünstig angeheftet, um eine kräftigere Beugung der Halswirbelsäule zu Stande zu bringen; aber sie mögen genügen, um die einknickende Wirkung des *m. sterno-cleidomastoideus* und des *m. cucullaris* durch Antagonismus aufzuheben und dadurch eine wirkliche Beugung des Kopfes durch diese Muskeln zu vermitteln, wenn auch dabei der Kopf selbst auf der Wirbelsäule etwas aufgerichtet wird. Würden die beiden kleinen Muskeln (*m. longus colli* und *m. rectus capitis*) genügen, auch nur eine geringe Konkavität der Wirbelsäule an deren vorderer Seite zu erzeugen, so müsste dadurch die Bedingung dafür gegeben sein, dass die beiden grösseren Muskeln in ihrer Wirkung diese Krümmung vermehren und dadurch direkt beugend auf die Halswirbelsäule einwirken würden. — Ob man sich die Wirkung der kleinen Muskeln so weit gehend denken darf, lässt sich freilich nicht bestimmen.

Will man ausser den eben ausgeführten noch andere Kräfte suchen, welche mit Beugung der Halswirbelsäule den Kopf nach vornen hinabbeugen, so kann man dafür keine anderen finden als die Gruppe der kleinen Muskeln, welche mit Einschaltung des Schildknorpels und des Zungenbeines von dem Brustbeine nach dem Kinnwinkel hingehen. Die Kraftwirkung dieser Muskeln kann aber keinenfalls eine bedeutende sein.

Nicht zu übersehen ist übrigens, dass die Schwere des vorwärts geneigten Kopfes die Wirkung aller dieser Muskelthätigkeiten wesentlich muss unterstützen können.

Die Bewegung der Halswirbelsäule, möge sie nun durch Muskeln der Wirbelsäule selbst direkt hervorgebracht sein, oder indirekt durch eine Bewegung, welche dem Kopfe durch weiter herkommende Muskeln gegeben wird, gibt dem Kopfe nur eine veränderte Lage, nach vornen, nach hinten oder nach der Seite. In jeder Lage, in welche der Kopf auf diese Weise gebracht werden kann, kann er aber auch seine Stellung gegen die Wirbelsäule selbst ändern, indem er gegen dieselbe eine Beugung nach vornen, nach hinten und nach der Seite, sowie auch eine Drehung um die fortgesetzte Axe der Wirbelsäule erfahren kann. Diese Beweglichkeit wird durch die beiden Artikulationen zwischen Hinterhaupt und Atlas und zwischen Atlas und Epistropheus vermittelt, und zwar in der Weise, dass die Beugungen in der Mittelebene und der Querebene auf das erste Gelenk angewiesen sind, die Drehungen aber auf das zweite. Die beiden Gelenke enthalten also die drei Axen, welche ein freies Gelenk charakterisiren und man kann sie deshalb, da sie einander sehr nahe gerückt sind, als ein in zwei Theile zerlegtes freies Gelenk ansehen. Den Atlas geradezu als einen Meniskus aufzufassen, hindert, wie oben schon bemerkt, die besondere auf seine Bewegung gerichtete Muskulatur.

Die Stellungsveränderung des Kopfes auf der Wirbelsäule ist theils eine Nebenwirkung der grösseren Muskeln, welche mit Ueberschreitung eines grösseren oder kleineren Theiles der Halswirbelsäule den Kopf angreifen und als Hauptwirkung die Lagenveränderung des Kopfes haben. So bewirkt insbesondere der *m. trachelomastoideus* eine Seitwärtsbeugung des Kopfes, der *m. splenius capitis*, *complexus*, *sterno-cleidomastoideus* und *cucullaris* eine Rückwärtsbeugung und zugleich Rotation.

Andererseits ist aber auch die Stellungsveränderung des Kopfes die Hauptwirkung der kleinen Muskeln, nämlich der fünf paarigen *m. recti capitis* und der zwei paarigen *m. obliqui capitis*, wobei aber zu bemerken ist, dass dem *m. rectus capitis posterior major* eine rotirende Nebenwirkung zukommt, dem *m. obliquus superior* aber eine solche fehlt.

Beide Kopfgelenke sind durch einen verhältnissmässig kolossalen Hemmungsapparat ausgezeichnet, welcher in einzelnen seiner Bestandtheile sogar beiden Gelenken gemeinsam ist, so dass deren Zusammengehörigkeit auch hierdurch wieder ausgesprochen ist.

Das Gelenk zwischen Atlas und Epistropheus ist ein Drehgelenk, welches eine einzige Axe besitzt, insofern also im mechanischen Sinne ein einziges Gelenk ist. Bekanntlich ist aber dieses in drei Gelenke im anatomischen Sinne zerlegt, nämlich das paarige Gelenk zwischen der *massa lateralis* des Atlas und der seitlichen Gelenkfläche des Epistropheus und das unpaarige zwischen dem vorderen Bogen des

Atlas und dem Zahne des Epistropheus. — Wenn diese drei Gelenke in Wirklichkeit nur ein einziges Gelenk im mechanischen Sinne darstellen, so müssen auch die drei auf demselben Knochen liegenden Gelenkflächen Theile der Oberfläche desselben mathematischen Körpers sein. Dass dieses wirklich der Fall ist, davon überzeugt man sich am Leichtesten an dem Epistropheus; denn es gelingt ohne Schwierigkeit durch Modelliren mit Gips einen kegelförmigen Körper darzustellen, von dessen Oberfläche die drei hierher gehörigen Gelenkflächen des Epistropheus Theile sind. Die Axe dieses Kegels ist senkrecht in der Mitte des Zahnfortsatzes gestellt und seine Erzeugungslinie ist gegen die Axe hin konvex. Die Drehung geschieht also um die Axe dieses Kegels in allen drei Gelenken gleichzeitig und gleichmässig. — Mit Recht macht indessen HENKE [1]) darauf aufmerksam, dass an diesem Schema eine Modifikation nothwendig ist, welche die beiden seitlichen Gelenke betrifft. Würde das oben gegebene Schema mathematisch genau sein, so müssten die beiden Gelenkflächen des Epistropheus und die beiden gegenüberliegenden der *massa lateralis* des Atlas ihrer ganzen Fläche nach in einer Zone jenes Kegels liegen, — und müssten vollständig kongruent ihrer ganzen Ausdehnung nach in Berührung liegen. Dieses ist indessen nicht der Fall, sondern die beiden einander berührenden Gelenkflächen wenden einander eine leicht konvexe Fläche zu, so dass sie in der mittleren Lage mit der Höhe der Konvexität sich berühren und vornen so wie hinten klaffen. Die Richtung der grössten Höhe der Konvexität ist in einer radialen Ebene jenes Kegels. Die Folge dieses Verhältnisses ist, dass die Drehbewegung des Atlas auf dem Epistropheus stets mit einer kleinen Senkung verbunden ist, ohne jedoch dabei die Axe zu verändern. Bei einer Drehung des Gesichtes z. B. nach links muss nämlich die hintere Abtheilung der rechtseitigen Gelenkfläche des Atlas über die vordere Abtheilung der gegenüberliegenden Gelenkfläche des Epistropheus hinabgleiten, — und ebenso die vordere Abtheilung der linkseitigen Atlasfläche über die hintere Abtheilung ihrer Epistropheusfläche. — HENKE hat Recht, wenn er diese Bewegung als Schraubenbewegung bezeichnet, indessen muss man, um dieses Schema durchzuführen, eine Schraube mit doppeltem Gang als den mathematischen Körper hinstellen, welchem beide seitlichen Gelenkflächen zwischen Atlas und Epistropheus gleichzeitig angehören. — Das oben gegebene Schema von dem Gelenke zwischen diesen beiden Wirbeln, welches ich zuerst in meinem Lehrbuche der Anatomie I. Auflage 1856 S. 91 aufgestellt habe, ist deswegen ebenso genau und ebenso ungenau wie die Bezeichnung des Ellenbogengelenkes als eines Ginglymus, d. h. es gibt im Allgemeinen in einfachster Form

1) Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke. 1863. S. 94—96.

die richtige Auffassung, für die ganz genaue Darstellung des Verhältnisses ist aber die eben gegebene Modifikation noch nothwendig.

Das Gelenk zwischen Hinterhaupt und Atlas ist ein zweiaxiges Gelenk der Art, wie sie als eiförmige Gelenke[1]) zu bezeichnen sind. Auch hier sind die beiden anatomisch getrennten Gelenke beider Kondylen im mechanischen Sinne nur ein einziges Gelenk, indem beide nur Theile der Oberfläche desselben eiförmigen Körpers sind und immer gemeinsam ihre Bewegungen ausführen müssen, um

1) eine quergehende Axe, welche durch beide Kondylen etwa in der Höhe des *processus anonymus* geht, und

2) eine höher gelegene, in der Mittelebene des Körpers liegende Axe.

Um die erstere gehen die Beugungen nach vorwärts und nach rückwärts und um die letztere diejenigen nach den Seiten.

Was nun die Hemmungen[2]) angeht, so findet sich zwischen Atlas und Epistropheus nur diejenige, welche durch die Kapseln der Seitengelenke und durch die *ligamenta alaria* des Zahnes gegeben sind. Das *ligamentum transversum* des Atlas ist einerseits Einsperrungsmittel des Zahnes, andererseits Ergänzung der Gelenkfläche für den Zahn in ähnlicher Weise wie das *ligamentum annulare* für den Radius. — Zwischen Atlas und Hinterhaupt finden sich dagegen Hemmungen für die Rückwärtsbeugung an dem *lacertus medius* und für die Seitwärtsbeugungen an den *lig. lateralia occipitis*; — bei beiderlei Beugungen gleichzeitig an den *ligamenta occipitalia anteriora accessoria.* — Starke Hemmungen für beide Gelenke gleichzeitig sind die *ligamenta alaria majora* und die *ligamenta occipitalia posteriora accessoria.* Erstere wirken als ein Kräftepaar sowohl gegen die Rotation als auch gegen die Seitwärtsbeugung; — letztere wirken durch Seitendruck auf den Atlas gegen die Rotation und durch Spannung gegen die Seitwärtsbeugung. — Das *ligamentum occipitale posterius medium* kann vielleicht eine Hemmung für die Vorwärtsbeugung sein, ist aber zu nahe der Axe gelegen, um welche diese geschieht, als dass man ihm eine beträchtliche Wirkung beimessen dürfte.

4. Das Kiefergelenk.

Die beiden Haupttheile des knöchernen Kopfes, der Kopf im engeren Sinne und der Unterkiefer sind durch das Kiefergelenk verbunden, welches eine Entfernung des Unterkiefers von dem Oberkiefer (Oeffnen

1) S. mein Lehrbuch der Anatomie. III. Aufl. S. 48 u. 50.

2) Ueber die hier genannten Bänder vgl. mein Lehrbuch der Anatomie. III. Aufl. S. 101.

der Kiefer und dann wieder eine Näherung des Unterkiefers gegen den Oberkiefer (Schliessen der Kiefer) gestattet.

Die Bewegungen in diesem Gelenke sind übrigens nicht so einfach, wie es nach der oberflächlichen Betrachtung dieser Aktionen scheinen möchte, sondern werden noch verwickelt dadurch, dass die Bewegungen in dem einzelnen (rechtsseitigen und linksseitigen) Gelenke mannichfaltigere sind und doch dabei die Nothwendigkeit vorhanden ist, dass beide Gelenke sich gleichzeitig und in gegenseitiger Abhängigkeit von einander bewegen.

Die einzelnen in dem Kiefergelenk möglichen Bewegungen sind in dem Bau dieses Gelenkes bei verschiedenen Thieren sehr scharf ausgeprägt und indem sie mit besonderer entsprechender Bildung der Gelenktheile verbunden sind, geben sie in Verbindung mit diesen gewissermassen eine Zerlegung der zusammengesetzteren Formen des Kiefergelenkes in ihre typischen Bestandtheile.

Die einfachste Gestalt des Kiefergelenkes findet sich bei den Karnivoren. Bei diesen ist nämlich der reine Ginglymus-Charakter ausgesprochen. Beide Unterkiefer-Kondylen sind in querer Richtung sehr lang und bilden Theile desselben Cylinders; ihre gegenüberliegende Gelenkfläche an dem Schädel ist ein Hohl-Cylinder von beträchtlichem Bogenwerth, welcher sogar noch etwas mehr als 180° betragen kann. — Bei dieser Gelenkbildung ist nur scheeren- oder zangenartiges Oeffnen und Schliessen möglich und zugleich ist durch die Tiefe der Gelenkhöhle für eine jede Stellung des Unterkiefers eine gesicherte Aufnahme des Axendruckes gewährt. — Dadurch ist denn auch das Zersprengen harter Theile (Knochen) und das Festklemmen zäher Theile (Sehnen, Fascien) für den Zweck des Zerreissens, wobei die Vorderpfoten das andere Ende halten, leicht ermöglicht.

Eine schon durch eine andere Bewegung verwickeltere Form findet sich bei den Nagern. Die Ginglymusbewegung für das Oeffnen der Kiefer kann bei diesen natürlich nicht fehlen; bestimmend für den Bau des ganzen Gelenkes ist aber die Bewegung nach vorwärts und rückwärts, durch welche die Backenzähne des Unterkiefers auf denjenigen des Oberkiefers gerieben werden. Dass diese Reibung nur in der Richtung von vornen nach hinten, vorwärts oder rückwärts, geschieht, beweist die Lage der beiden (rechtsseitigen und linksseitigen) Reibflächen, welche stark nach unten konvergiren. Die Gestaltung des Gelenkes, welche dieses ermöglicht, ist folgende: Jederseits findet sich an dem Schädel eine der Mittelebene parallel verlaufende Rinne; der Kondylus des Unterkiefers ist von den Seiten stark zusammengedrückt, so dass er kaum über die seitliche Fläche des *ramus ascendens* hervorsteht, dagegen ist er in

der Richtung von vornen nach hinten stark gewölbt; so dass seine Peripherie in der Seitenansicht einem Kreise von verhältnissmässig grossem Radius angehört; — diese beiden Kondylen können in den bezeichneten Rinnen hin- und herrutschen, wie die Kufen eines Schlittens und daneben um eine gemeinsame Axe im Sinne eines Ginglymus sich bewegen, so dass dadurch die Oeffnungs- und Schliessungsbewegungen entstehen.

Bei den Solidungula tritt in typischer Weise die seitliche Drehung des Unterkiefers auf, wobei der Kondylus der einen Seite an seiner Stelle bleibt und der der anderen Seite vorrutscht; der Kinnwinkel des Unterkiefers wird dabei nach der Seite verschoben, auf welcher der Kondylus an seiner Stelle bleibt. In der Gestaltung des Gelenkes findet diese Bewegungsmöglichkeit Ausdruck in dem Vorhandensein eines rundlichen Zapfens, welcher an dem Schläfenbeine hinter der Gelenkfläche für den Kondylus nach unten hervorragt; um diesen Zapfen dreht sich eine entsprechende Hohlfläche an der hinteren Fläche des Kondylus. Besonders deutlich ist dieser Bau bei dem Esel zu sehen. Bei dieser Bewegung werden die Backenzähne beider Kiefer in querer Richtung über einander hingeführt und dadurch die zwischen ihnen liegenden Substanzen zermalen; man findet deshalb auch auf der Oberfläche der Backenzähne beider Kiefer querlaufende Rinnen als Folge dieser Reibung. Der Raum zwischen den malmenden Oberflächen, in welchen die zu verarbeitenden Substanzen eingeführt werden, wird ebenfalls durch eine besondere Einrichtung in dem Baue der Gelenkfläche an dem Schläfenbeine gegeben. Zunächst um den Drehzapfen herum befindet sich nämlich eine mehr oder weniger tiefe Rinne (*cavitas glenoides*), in welcher der Kondylus sich um den Zapfen dreht; diese Rinne umgreift ungefähr die vordere Hälfte des Zapfens; und vor ihr erhebt sich ein Wulst (*tuberculum articulare*) dessen Oberfläche ebenfalls den Charakter einer Gelenkfläche trägt. Wird ein Kondylus durch die bezeichnete Drehbewegung vorgeschoben, so wird er zugleich auf diesen Wulst hinaufgehoben und damit die Zahnreihen beider Seiten, am meisten aber diejenigen seiner Seite, von einander entfernt. Wird er dann wieder zurückgeführt, so sinkt er wieder in die *cavitas glenoides* und dadurch werden die Zahnreihen, während sie in querer Richtung über einander hingeführt werden, schärfer auf einander gedrückt. Soll für Aufnahme neuer Massen von Ernährungssubstanzen ein Oeffnen der Kiefer stattfinden, so ist einer Ginglymusbewegung in der *cavitas glenoides* der Drehzapfen im Wege, und es werden beide Kondylen auf das *tuberculum articulare* vorgeschoben, wo sie dann keine Hemmung ihrer Ginglymusbewegung finden. Indem beim Schliessen der Kiefer beide Kondylen wieder in ihre *cavitas glenoides* zurückrutschen, ist in dieser Bewegung zugleich in geringerem Grade eine Reibung

gegeben nach Art derjenigen, wie sie am ausgebildetsten bei den Nagern gefunden wird.

Eine gewisse Gleichmässigkeit der Ausbildung zwischen den beschriebenen drei Hauptformen des Kiefergelenkes findet sich in zweierlei Weise, nämlich:

1) durch möglichst gleichmässig schlechte Ausbildung und

2) durch möglichst gleichmässig gute Ausbildung

jeder der drei Formen in demselben Gelenke. Ersteres ist der Fall bei den Ruminantien, bei welchen die Vielseitigkeit der Kieferbewegung durch die Charakterlosigkeit im Bau des Gelenkes bedingt ist, — letzteres findet sich besonders schön bei manchen Affen, etwas weniger schön, aber doch sehr erkennbar, auch in dem menschlichen Kiefergelenk.

Diese etwas weitere Auseinandersetzung war nothwendig, nicht sowohl um dem menschlichen Kiefergelenke seine Stellung unter der Reihe anderer Kiefergelenke anzuweisen, sondern namentlich, um zu zeigen, wie in demselben verschiedene einfache Formen so vereinigt vorkommen, dass sie sich gegenseitig beeinflussen und zu einer Meng-Gestalt zusammenfliessen, in welcher die einzelnen Elemente nur schwierig noch zu erkennen sind.

Um möglichst viele Einzelnheiten des menschlichen Kiefergelenkes von einem gemeinsamen Gesichtspunkte aus übersehen zu können, geht man am Besten von der einseitigen Drehbewegung aus, wie sie in dem Obigen als besonders scharf bei den Solidungula ausgesprochen beschrieben wurde. — Nebenstehende Figur gebe die derselben zu Grunde liegenden anatomischen Verhältnisse von unten gesehen im Schema; — *c* sei der *conus articularis*, — *t* der Wulst, *tuberculum articulare*, welcher die *cavitas glenoides* umgibt, — und *m* der Kondylus, welcher in der *cavitas glenoides* gelegen ist; — wenn in dem Gelenke, in welchem der Kondylus die *cavitas glenoides* nicht verlässt, eine Drehung um die Axe des *conus articularis* stattfinden soll, so muss die *cavitas glenoides* Theil einer kreisförmigen Rinne sein, — das *tuberculum articulare* als Grenze der Rinne muss ebenfalls kreisförmig gestaltet sein, und der Kondylus des Unterkiefers muss von oben oder von unten gesehen ebenfalls eine nach der Kreislinie gebogene Gestalt besitzen. — Lässt man nun um die Axe des *conus articularis* in I eine Drehbewegung geschehen, so wird sich der Kondylus derselben Seite in der Rinne der *cavitas glenoides* bewegen, der Kondylus der anderen

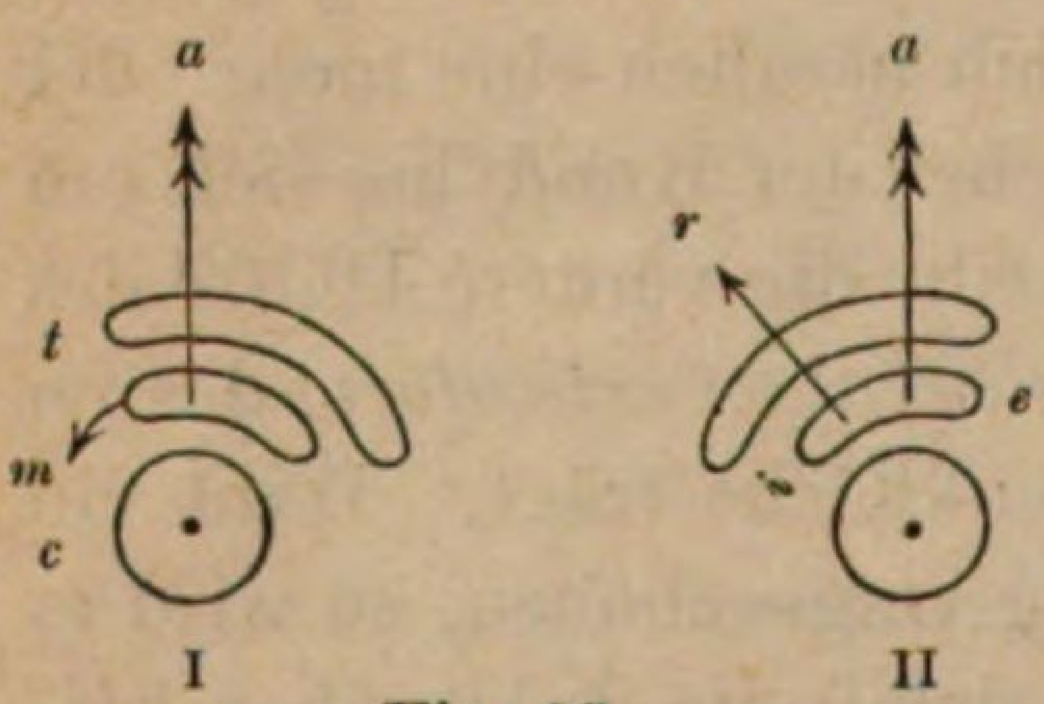


Fig. 35.

Seite (II) aber muss dann, die Rinne verlassend, auf den Wall des *tuberculum articulare* sich erheben und zwar in der Richtung einer Kreislinie, deren Mittelpunkt die Axe von *c* in I ist; diese Richtung ist in der Zeichnung durch die Linie *r* angedeutet. Findet ein symmetrisches Vorwärtsschieben auf beiden Seiten statt, so ist dagegen die Richtung gerade nach vornen in der Richtung der Linie *a*. Der Kondylus überschreitet also das *tuberculum* auf zwei verschiedenen Wegen und in jedem der beiden Wege muss ein anderer Theil des Kondylus in senkrechter Richtung auf das *tuberculum* hingehen, nämlich auf dem Wege *r* der innere Theil *i* und auf dem Wege *a* der äussere Theil *e*.

Diese Verhältnisse drücken sich in einem charakteristisch gebildeten Kiefergelenke sehr deutlich im Bau aus und durch die oben gegebene schematische Darstellung der Bewegungen ist denn auch zugleich die Erklärung für diese Gestaltverhältnisse gegeben. — Der Centralpunkt des Baues, der *conus articularis*, erscheint als ein kegelförmiger Hügel von verschiedener Höhe und Mächtigkeit bei verschiedenen Individuen und liegt als Anfang der hinteren Wurzel des *arcus zygomaticus* gerade vor der Mündung des äusseren Gehörganges; — die *cavitas glenoides* umgibt diesen Kegel als eine gebogene Rinne, deren eines Ende an die *fissura Glaseri* anstösst und deren anderes Ende frei nach aussen mündet; — das *tuberculum articulare* hat als Ganzes ebenfalls diese gebogene Gestalt und zerfällt mehr oder weniger scharf in einen äusseren querliegenden Theil, welcher noch grösstentheils auf der vorderen Wurzel des Jochbogens liegt, und einen inneren auf der unteren Seite der Schläfenschuppe liegenden Theil, welcher nach hinten und innen die Richtung gegen die *spina angularis* des Keilbeines nimmt. Mit Benutzung des oben gegebenen Schemas sind diese Richtungen leicht bezeichnet: der äussere Theil ist nämlich senkrecht zu dem Wege *a*, und der innere senkrecht zu dem Wege *r* gestellt. — An dem Kondylus des Unterkiefers finden sich dieselben beiden Theile ausgesprochen; — es ist nämlich ein äusserer quergestellter Theil, dem Theile *e* des Schemas entsprechend, deutlich geschieden von einem nach hinten gerichteten inneren Theile, dem Theile *i* des Schemas entsprechend; — letzterer bildet den oberen Rand der kleinen dreieckigen Platte, welche an ihrer vorderen Fläche die *fossa condyloidea* trägt; die hinten gelegene Höhlung beider Theile bildet als *fovea articularis* die Gelenkfläche zur Artikulation mit dem *conus articularis*.

Noch ist auf einen Punkt von Interesse aufmerksam zu machen. Wenn nämlich bei der einseitigen Drehung der eine Kondylus (in I des Schemas) in der Tiefe der *cavitas glenoides* bleibt und der andere Kondylus (in II des Schemas) sich auf das *tuberculum articulare* erhebt, so muss der Unterkiefer schief liegen, und zwar beträgt diese Schieflage

nach der Bestimmung in einem individuellen Falle 17 [1]). Wenn es dabei möglich sein soll, dass die Kondylen doch in möglichster Berührung mit ihren Gelenkflächen an der Schädelbasis seien, so müssen die oberen Ränder der Kondylen entsprechend gestaltet sein; — sieht man dieselben von hinten an, so findet man auch, dass der innere Theil nach innen und der äussere Theil nach aussen abfällt und zwischen beiden eine deutliche Firste gelegen ist; — in der einseitigen Drehung liegt dann nur die äussere Abtheilung des einen Kondylus in seiner *cavitas glenoides* fest an, und die innere Abtheilung des anderen Kondylus auf der inneren Abtheilung seines *tuberculum articulare*. — Bei dem symmetrischen Vorschieben liegen nur die äusseren Theile beider Kondylen auf den äusseren Theilen beider *tubercula* fest an, während die inneren Theile klaffen.

Der Artikulation dienen demnach

bei dem einseitigen Vorrutschen z. B. des rechten Kondylus: der linke *conus articularis* und der diesen umgebende Theil der *cavitas glenoides* und von dem rechten *tuberculum articulare* der innere Theil, — und von dem Unterkiefer der äussere Theil des linken und der innere Theil des rechten Kondylus;

bei dem zweiseitigen Vorrutschen der äussere Theil beider *tubercula articularia* und der äussere Theil beider Kondylen des Unterkiefers.

In Bezug auf den ersteren Mechanismus ist jedoch noch ein Punkt zu beachten, welcher für die Richtung der Bewegung des wandernden Kondylus wichtig wird. — Untersucht man nämlich einen Unterkiefer, welcher mit beiden Kondylen in den beiden Gelenkhöhlen steht, so findet man, dass die *foveae articulares* der beiden Kondylen nach innen von den *coni articulares* stehen, dass sie also nicht mit den letzteren in unmittelbarer Berührung sind. Soll nun ein Vorwärtsrutschen z. B. des rechten Kondylus erzielt werden, dann muss die linke *fovea articularis* mit ihrem *conus* in Berührung gebracht werden, d. h. es muss der linke Kondylus etwas nach aussen verschoben werden; für den rechten Kondylus ist dieselbe Bewegung dann eine solche nach innen. Der rechte Kondylus muss also eine Bewegung nach vornen und nach innen erhalten; beides ist aber gleichzeitige Wirkung des *m. pterygoideus minor (s. externus)* derselben Seite; dieser Muskel ist demnach für sich allein im Stande, den Unterkiefer für die einseitige Vorschiebung einzurichten und die Vorschiebung selbst auszuführen. Zugleich ist zu beachten, dass die bezeichnete seitwärtse Verschiebung des ganzen Unterkiefers dem

1) Vgl. I. 7. S. 728.

rechtsseitigen Kondylus eine entschiedenere Richtung nach innen geben muss, als es die Drehung um den linksseitigen Conus für sich allein ausführen würde; — und mit diesem wird die Berührung des rechten Kondylus mit dem inneren Theile seines *tuberculum articulare* erst eine recht genaue.

Das zweiseitige (symmetrische) Vorziehen der Kondylen des Unterkiefers ist die Wirkung beider *m. pterygoidei minores* (*s. externi*), wobei die nach innen gerichtete Komponente beider sich gegenseitig aufhebt.

Eine besondere Schwierigkeit für die Erklärung bietet der Vorgang der Oeffnung der Kiefer. Die Schwierigkeit besteht in folgenden Umständen:

1) gibt es keine Muskeln, welche in so direkter Weise als Abzieher des Unterkiefers sich darstellen, wie die Anzieher (Schliesser) desselben sich als solche erkennen lassen. — Der *m. digastricus maxillae inferioris* wird zwar als ein solcher Abzieher hingestellt, aber er wird doch kaum als solcher wirken können, indem er nicht direkt von seinem Ursprunge in der *incisura mastoidea* aus an den Unterkiefer geht, sondern in einem nach unten gerichteten, an das Zungenbein angehefteten Bogen. Seine erste Wirkung muss daher eine die Wirkung des *diaphragma oris* (*m. mylohyoideus*) ergänzende diaphragmatische[1]) sein; — und nur wenn das Zungenbein von unten her durch die *m. sterno-hyoideus*, *omohyoideus* und *sterno-thyreo-hyoideus* fixirt ist, kann möglicher Weise der vordere Bauch des *m. digastricus* von ihm als festem Punkte aus auf den Unterkiefer herabziehend oder vielmehr zurückziehend wirken; in dieser Wirkung würde ihm dann unter der gleichen Bedingung der *m. genio-hyoideus* unterstützen.

2) Die Eröffnung ist stets mit einer Vorwärtsbewegung des Kondylus auf das *tuberculum articulare* verbunden. In dieser Beziehung entsteht zuerst die Frage: in wie weit sind diese beiden Bewegungen gegenseitig von einander abhängig? — Als Antwort auf diese Frage finden wir nun vor allen Dingen, dass eine Eröffnung nie ohne Vorrutschen des Kondylus zu Stande kommt, und aus dem oben Besprochenen ist es auch deutlich, dass, so lange der Kondylus in der *cavitas glenoides* sich an den *conus articularis* anlehnt, eine Eröffnungsbewegung unmöglich ist und dass diese erst geschehen kann, wenn der Kondylus in freierer

1) Vgl. mein Lehrbuch der Anatomie. III. Aufl. S. 207 u. 280.

Lage auf dem *tuberculum articulare* sich befindet. — Die Oeffnungsmöglichkeit ist also von dem Vorrutschen abhängig, deshalb ist auch letzteres immer mit dem Oeffnen verbunden. — Es entsteht jetzt aber die weitere Frage: Sind beide Bewegungen dieselbe Aktion? Werden sie insbesondere gleichzeitig durch die Wirkung des *m. pterygoideus minor* zu Stande gebracht? Oder müssen noch besondere Aktionen dazu einwirken, dass die Eröffnung sich mit dem durch den letzteren Muskel bewerkstelligten Vorrutschen verbindet? — Wir finden nun, wenn wir die Erfahrung berücksichtigen, dass ein Vorrutschen möglich ist auch ohne eine Eröffnung. Möglicher Weise könnte aber auch dabei die Eröffnung nur durch die antagonistische Wirkung der Schliesser aufgehoben sein. — Die Antwort auf diese Fragen kann nur eine genauere Analyse des *m. pterygoideus minor* geben. Dieser Muskel zerfällt in zwei Portionen. Die oberste, von der *lamina triangularis* des Keilbeines herkommend, geht an den Meniskus und an einen Sehnenbogen, welcher von diesem auf den Kondylus hinuntergeht; diese Portion kann nur den Meniskus über das *tuberculum articulare* nach vornen ziehen, und auch eine geringe Wirkung im gleichen Sinne auf den Kondylus ausüben. Die untere Portion, von dem *processus pterygoides* kommend, geht in ihrer Mittelrichtung aufsteigend nach dem Kondylus selbst und muss diesen nach vornen hinabziehen; es ist dieses aber gerade die Richtung, welche für das Vorrutschen auf die Höhe des *tuberculum articulare* nothwendig ist. — Wenn diese Bewegung auch noch eine Entfernung des Unterkiefers von dem Oberkiefer soll bedingen können, so muss unterhalb des Kondylus ein Punkt sein, welcher hierfür als Drehpunkt benutzt werden kann; wirkt unter diesem dann noch eine Kraft im ähnlichen Sinne, so wird die Möglichkeit jener Nebenwirkung des *m. pterygoideus minor* noch mehr einleuchten. Dieser Punkt ist aber in dem Anheftungspunkte des *ligamentum laterale* an dem Halse des Kondylus gegeben. — Man denke sich den Unterkiefer mit Erschlaffung seiner Schliesser nur seiner Schwere überlassen, so wird er nach hinten hinuntersinken, als Mittelpunkt dieser Bewegung kann nur ein fester Aufhängepunkt dienen und ein solcher ist das Gelenk in der *cavitas glenoides* nicht, weil es nicht fixirt genug ist, dagegen ist ein solcher die Anheftung des *ligamentum laterale* (*externum*). Man kann am Präparate sehen, dass die Schwere des Unterkiefers allein demselben eine Stellung gibt, in welcher er in beiden *ligamenta lateralia* (*externa*) hängt, und da dabei der unter der Anheftung dieser Bänder gelegene grössere

Theil nach hinten fällt, wird der über der Bandanheftung liegende Kondylus nach vornen auf das *tuberculum articulare* geführt; die *ligamenta lateralia* werden dabei zugleich senkrechter gestellt. — Wenn nun der sich selbst überlassene Unterkiefer schon für sich die Eröffnungsbewegung mit Vorrutschen des Kondylus auf das *tuberculum articulare* ausführt, so wird diese Bewegung noch viel leichter und entschiedener zu Stande kommen müssen, wenn der *m. pterygoideus minor* in oben angegebener Art mithilft.

Die Eröffnung der Kiefer ist also vereinte Wirkung der Schwere und des *m. pterygoideus minor*, und wenn ein Vorschieben ohne Eröffnung geschieht, so ist dieses nur Wirkung des *m. pterygoideus minor* allein, während die Schwere durch die Schliesser getragen wird.

Der Schluss der Kiefer geschieht dagegen durch die bekannten Schliesser in sehr kräftiger Weise und da die mittlere Richtung derselben bei vorgeschobenem Unterkiefer eine beträchtliche, nach hinten gerichtete Komponente besitzt, so wird mit dem Schliessen zugleich auch der Kondylus wieder in die *cavitas glenoides* zurückgezogen. — Die Schliesser verbinden dadurch mit ihrer quetschenden Wirkung auch eine reibende.

Das Vorrutschen der Kondylen erscheint nach oben Gesagtem

1) als Wirkung des *m. pterygoideus minor* (*s. externus*) und
2) als Folge der Senkung des Unterkiefers um die Aufhängung an dem *ligamentum laterale*.

Da das Vorrutschen für sich allein zu Stande kommen kann, — und der vorgeschobene Unterkiefer, nur der Schwere folgend, sich von dem Oberkiefer entfernen kann, so kann eine Oeffnungsstellung des Unterkiefers auch in zwei Zeiten und durch zwei Akte zu Stande kommen, nämlich:

1) Vorschieben in unveränderter Stellung, wobei natürlich, aber unter Beibehaltung des Parallelismus der Zahnreihen beider Kiefer, ein Abheben des Unterkiefers von dem Oberkiefer um das Mass der Höhe des *tuberculum articulare* stattfinden muss;
2) Sinkenlassen des vorgeschobenen Unterkiefers.

Mit Hülfe dieser Zerlegung kann man die in dem Kiefergelenke geschehenden Vorgänge bei der Oeffnung der Kiefer leichter verstehen und würdigen.

Untersucht man zuerst, was bei dem Vorrutschen für sich geschieht, so findet man Folgendes: Die Oberflächen der äusseren Theile beider *tubercula* sind Theile der Oberfläche desselben Cylinders; genau genommen sind sie indessen allerdings nicht Cylinderoberflächen, denn es

lässt sich ein jeder dieser beiden Tuberkulum-Theile nicht zu einem Cylinder im mathematischen Sinne ergänzen, sondern zu einem abgestumpften Kegel, dessen Basis gegen aussen gelegen ist. Die Axen beider Kegel sind aber Theile derselben geraden Linie. — Die Oberflächen der beiden äusseren Theile der Kondylen sind ebenfalls Theile der Oberfläche desselben Cylinders und zwar ist der Gradwerth eines jeden ungefähr 90°. Bei geschlossenen Kiefern liegt der hintere begrenzende Halbmesser dieser 90° ungefähr senkrecht und der vordere horizontal. Die Gelenkfläche dieses Theiles der Kondylen sieht also nach vorn und oben gerade gegen die hintere Fläche des *tuberculum*. Findet nun ein Vorwärtsrutschen statt, ohne dass der Unterkiefer seine Stellung ändert, so kommt der hintere senkrechte Grenzradius gerade unter das *tuberculum* zu stehen und die ganze Gelenkfläche des Kondylus liegt frei, ausser Berührung mit dem *tuberculum*. — Die beiden Walzen sind also um etwa 90° mit ihren Oberflächen über einander gerutscht, wobei freilich das *tuberculum* ruhend geblieben ist. — Der Meniskus ist einerseits mit einer Konkavität gegen das *tuberculum* und andererseits mit einer solchen gegen die Gelenkfläche des Kondylus gewendet; bei dem Vorwärtsrutschen schiebt er sich über das *tuberculum* nach vornen; gegen den Kondylus braucht er seine Lage nicht oder nicht wesentlich zu ändern; wenn dieses auch wegen Hemmung der Bewegung des Meniskus um das *tuberculum* einzutreten pflegt. — Man kann, wenn man glaubt die Sache dadurch deutlicher aufzufassen, diese Bewegung als eine Ginglymusbewegung des Meniskus um die Axe des *tuberculum* ansehen. — Am Ende der Bewegung steht das *ligamentum laterale* senkrecht, von aussen das Gelenk deckend.

Beide *ligamenta lateralia* sind nun in die Bedeutung von Aufhängebändern für den Unterkiefer getreten, und ihre unteren Anheftungspunkte müssen dadurch die Ruhepunkte werden, um welche sich der Unterkiefer dreht, wenn er, der Schwere folgend, hinabsinkt; der Kondylus muss dabei weiter nach vornen rutschen, wobei er sich zugleich in der Höhlung dreht, welche ihm der Meniskus zuwendet, und die Gelenkflächen des *tuberculum* und des Kondylus sind nun (abgesehen von der Zwischenschaltung des Meniskus) durchaus nicht mehr in Berührung, sondern der Unterkiefer hängt nur in seinen *ligamenta lateralia* und stützt sich dabei mit seinem Kondylus an den Meniskus und die mit diesem verbundene Gelenkkapsel. — Da die Axe dieser Bewegung eine andere ist, als diejenige der Gelenkfläche des Kondylus, so kann bei derselben ein Vergleich mit einer Ginglymusbewegung des Kondylus in dem Meniskus nicht wohl am Platze sein.

Der Meniskus ist überhaupt kein starres Gebilde mit gegebenen Artikulationsflächen, sondern er ist ein in seiner Gestalt accommoda-

tionsfähiger Körper, welcher in verschiedenster Weise die Lücken ausfüllt, welche bei den Bewegungen neben den Berührungslinien des Kondylus und des *tuberculum* bleiben.

Anmerkung. Vgl. über diese Verhältnisse auch I. 7. — In diesem Aufsatze habe ich übrigens den *ligamenta lateralia* zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt, weil ich erkannt hatte, dass die Auffassung, welche ich früher über ihre Bedeutung hatte, sich nicht halten liess. Nach der oben gegebenen Darstellung muss ich indessen doch jene ältere Auffassung in Modifikation wieder aufnehmen, indem ich doch wieder den unteren Anheftungspunkt der *ligamenta lateralia* als Drehpunkt hinstellen muss, jedoch nur für das Sinken des Unterkiefers durch die Schwere, nicht für die ganze Oeffnungsbewegung überhaupt oder das Vorwärtsrutschen bei derselben.

Der Brustkorb.

Der Brustkorb ist eine Knochenkombination, welche dadurch entsteht, dass an den zwölf Brustwirbeln jederseits zwölf Rippen angeheftet sind, je eine jederseits an jedem Brustwirbel, — und dass diese Rippen, die zwölfte und etwa die elfte noch ausgenommen, in direkterer oder indirekterer Weise in dem Brustbeine wieder eine Vereinigung finden.

Der Brustkorb besitzt demnach an der Wirbelsäule ein hinteres festes longitudinales Mittelgebilde, — und an dem Brustbeine ein vorderes dieser Art. Zwischen beiden liegen als bewegliche Knochenbogen die Rippen.

Trotz ihrer inneren Gliederung ist die Brustwirbelsäule als die feststehende Grundlage des Aufbaues des Brustkorbes anzusehen, weil die anderen Theile desselben gegen sie beweglich sind und ihre Stellung und Haltung nicht beeinflussen können.

Nach der Wirbelsäule ist das Brustbein massgebender Mittelpunkt des Baues und der Bewegungen des Brustkorbes. Dasselbe übt Einfluss auf die Bewegungen der Rippen, welche der beweglichste Theil des Brustkorbes sind.

Die Bewegungen der Rippen sind es, welche die einfachen Elemente der Bewegungen des ganzen Brustkorbes sind. Sie sind die eigentlichen Grundlagen des Mechanismus des Brustkorbes und von ihnen sind zunächst die Bewegungen und Gestaltveränderungen des Brustkorbes abhängig. Den Einfluss, welchen sie von dem Brustbeine erfahren, geben sie diesem zurück und bedingen dadurch theilweise dessen Bewegung und Lagerung.

Die durch die Rippen dargestellten knöchernen Bogen können zwar im Allgemeinen als der Peripherie des Rumpfes folgend angesehen werden, liegen aber keineswegs unter einander parallel die Peripherie auf dem kürzesten Wege umgreifend, sondern von der Wirbelsäule ausgehend liegen sie so divergent, dass, während die erste Rippe eine geringere

Schieflage zeigt, die Fortsetzung der Richtung der zwölften Rippe den oberen Rand der *symphysis ossium pubis* erreichen würde. Genauere Angaben über diesen Punkt lassen sich als allgemein gültige nicht geben, da die individuellen Schwankungen, abhängig von individueller Gestaltung, von Gewohnheit der Haltung, von den Zuständen der Eingeweide etc. nicht unbeträchtlich sind.

Das Brustbein ist verhältnissmässig kurz, indem seine *incisura jugularis* ungefähr auf der Höhe der Symphyse zwischen dem zweiten und dritten Brustwirbel gelegen ist und das untere Ende seines Körpers ungefähr auf der Höhe des neunten bis zehnten Brustwirbels. An dem Brustbeine concentriren sich die Endigungen der Knorpel aller ächten Rippen, und da die Rippenknochen einen stark nach unten gerichteten Verlauf zeigen, so ist es nothwendig, dass die Rippenknorpel von ihrer Anheftungsstelle an die Rippenknochen aus stark nach aufwärts steigen, um das Sternum zu erreichen. — Einige Masse an einem wohlgebauten Brustkorbe werden im Stande sein, dieses Verhältniss in Gemeinschaft mit dem Grad der Divergenz der Rippen zu erläutern.

Das untere Ende des Brustbeinkörpers ist, wie oben schon bemerkt, auf der Höhe des neunten bis zehnten Brustwirbels. Auf der gleichen Höhe befindet sich das Ende des Knochens der fünften Rippe. An diesem Theile des Sternum befindet sich aber auch das Ende des Knorpels der siebenten Rippe, während die Biegung dieser Rippe in dem Anfangstheile ihres Knorpels sich auf der Höhe der Intervertebralscheibe zwischen dem zwölften Brustwirbel und dem ersten Lendenwirbel befindet. Der Knochen der siebenten Rippe steigt also über 5 Wirbelhöhen hinab und der Knorpel derselben Rippe steigt wieder um 2 Wirbelhöhen hinauf. — Die obige Angabe über das Ende des Knochens der fünften Rippe lässt ferner auch erkennen, dass diese Rippe bis zu dem Anfange ihres Knorpels um 4 Wirbelhöhen hinabsteigt, — ihr Knorpel steigt indessen nur um ungefähr eine Wirbelhöhe wieder hinauf bis zu seiner Anheftung an dem Brustbein.

Einige weitere Masse und Angaben werden geeignet sein, diese Verhältnisse, wenn auch nach einem individuellen Falle, noch mehr zu erläutern. An dem oben bezeichneten Brustkorbe betrug die Länge der Linie von dem Kapitulum der ersten Rippe bis zu demjenigen der siebenten Rippe 14 Cm., — die Länge der Linie über die *anguli* der genannten Rippen 17 Cm., — und die Länge der Linie über die Verbindungsstelle der Rippenknochen mit den Rippenknorpeln für dieselben Rippen 23 Cm. — Die Höhe eines Rippenzwischenraumes nimmt also im Durchschnitt bis zu dem *angulus* um 5 Mm. zu und bis zu dem Ende der Rippenknochen um 15 Mm. — Zu beachten ist übrigens hierbei, dass die durch die Enden der Rippenknochen

gezogene Linie, welche annähernd eine gerade Linie ist, wenn sie in der gleichen Richtung, welche durch die Endigungen der unteren Rippen bestimmt wird, von der zweiten auf die erste Rippe geführt wird, nicht das Ende des Knochens der ersten Rippe erreicht, sondern die Einfügung ihres Knorpels in das *manubrium sterni.* In diesem Sinne ist denn auch das oben angegebene Mass zu verstehen; — dasselbe bezeichnet (mit anderen Worten) die Länge einer annähernd geraden Linie, welche von der *incisura costalis prima* des Sternum zu dem Ende des Knochens der siebenten Rippe geht und die Enden der Knochen aller zwischenliegenden Rippen bestreicht.

Bemerkenswerthe Verhältnisse wegen der Ungleichmässigkeit der Eintheilung des Raumes bietet auch die Vereinigungsweise der Rippenknorpel mit dem Brustbeine. — Wie vorher angegeben wurde, ist das Ende des Knochens der fünften Rippe auf gleicher Höhe mit dem unteren Ende des Brustbeinkörpers und das Ende des Knochens der siebenten Rippe ist 40 — 50 Cm. tiefer. In Fortsetzung ihrer Richtung würde die fünfte Rippe deshalb mit ihrem Knorpel das unterste Ende des Brustbeinkörpers treffen, oder eigentlich sogar noch, wegen des absteigenden Verlaufes, unter demselben den *processus xiphoides,* — und die siebente Rippe würde wenig über der Nabelhöhe die Mittellinie des Bauches treffen. Die Möglichkeit dafür, dass die ersten sieben Rippen alle an den Rand des Brustbeines sich anheften, kann daher nur dadurch gegeben sein, dass die Knorpel wenigstens der unteren dieser sieben Rippen zum Brustbeine wieder aufsteigen und sich zusammengedrängt an dessen Seitenrand ansetzen.

Verfolgt man nun die Art, wie dieses geschieht, so kommt man auf folgende interessante Verhältnisse:

Die Knorpel der drei oberen Rippen setzen den Verlauf der Knochen dieser Rippen fort und finden dadurch eine diesem entsprechende Anheftung an der Seite des Brustbeins; — der dritte Rippenknorpel heftet sich nämlich gerade in der Mitte des Seitenrandes des Brustbeinkörpers an, — die Anheftung des zweiten ist an der Verbindungsstelle von Körper und Manubrium, — und diejenige des ersten an der *incisura costalis* des Manubrium. Die Entfernungen dieser drei Anheftungen von einander entsprechen den Entfernungen der Rippenköpfchen *plus* der Vergrösserung des Interstitiums durch die Divergenz. Jedoch ist der obere der beiden Zwischenräume zwischen den Anheftungen etwas grösser als der untere, was sich genügend durch die stärkere Schieflage des Manubrium erklärt.

Während auf diese Weise in der oberen Hälfte des Sternum nur zwei Rippenknorpel angeheftet sind, müssen sich auf die untere

Hälte desselben vier Anheftungen koncentriren und dieses geschieht in der Weise, dass die Anheftung des siebenten Knorpels unmittelbar neben (und etwas vor) dem *processus xiphoides* sich findet und diejenige des sechsten sich unmittelbar an dieselbe anreiht. Die Zwischenräume zwischen den Anheftungen des III. und IV., des IV. und V., und des V. und VI. Knorpels sind dann der Art, dass sie von oben nach unten allmälig abnehmen und zwar ungefähr in dem Verhältniss von 4 : 3 : 2. — Der oberste dieser Zwischenräume (zwischen III. und IV. Rippe) ist indessen schon etwas kleiner als der darüber liegende (zwischen II. und III. Rippe).

Anmerkung. Für die angegebenen Verhältnisse ist die Mitte der einzelnen *incisura costalis* massgebend, und zwar wurde zur Beseitigung der durch die Biegungen des Randes des Sternum nothwendig gegebenen Ungleichmässigkeiten die Messung in der Projection auf die Mittellinie des Sternum genommen. — Die Messungen an einem wohlgebildeten Sternum gaben folgende Zahlen :

Zwischenraum zwischen *inc. cost.*	I u. II	35 Mm.
- - - -	II u. III	30 -
- - - -	III u. IV	27 -
- - - -	IV u. V	20 -
- - - -	V u. VI	14 -
- - - -	VI u. VII	3 -

Summe der ersten zwei Zwischenräume = 65 Mm.
- - letzten vier - = 64 -

Für die drei vorletzten Zwischenräume würden die Zahlen 28, 21, 14, das oben angegebene Verhältniss 4 : 3 : 2 zeigen.

Wenn nun die Knorpel der unteren vier wahren Rippen sich auf einen verhältnissmässig so engen Raum mit ihren Anheftungen zusammendrängen müssen, während die entsprechenden Rippenknochen eine nicht unbeträchtliche Divergenz zeigen, so ist es selbstverständlich, dass die betreffenden Rippenknorpel verhältnissmässig lang sein müssen, um das Brustbein erreichen zu können und eine nach aufwärts gewendete Richtung zeigen müssen. — Die Messung zeigt auch sogleich die beträchtliche Grössenzunahme der Knorpel, während sie die Länge der Rippenknochen als gleich gross für alle vier Rippen erkennen lässt.

Es betrug nämlich an dem oben erwähnten wohlgebauten Brustkorbe die Länge

	des Rippenknochens	des Rippenknorpels
IV. Rippe . . .	31,5 Cm. . . .	4 Cm.
V. - . . .	33 - . . .	5 -
VI. - . . .	32,9 - . .	2 + 5 = 7 Cm.
VII. - . . .	32,8 - . .	2 + 8 = 10 -

Die Scheidung der letzten Angaben in zwei durch + verbundene Zahlen will andeuten, dass 2 Cm. Länge des Knorpels die Richtung des Knochens bis zur Umbiegungsstelle fortsetzen und die übrige Länge (5 Cm., 8 Cm.) dem aufsteigenden Theile des Knorpels zukommt.

Was die falschen Rippen angeht, so haben diese zum Theil denselben Bau wie die unteren wahren Rippen. Ihre Knochen folgen demselben Divergenzgesetz, welches oben für die wahren Rippen aufgestellt wurde. Die Knochen der oberen sind denjenigen der unteren wahren Rippen an Länge noch annähernd gleich; diejenigen der unteren nehmen aber rasch an Länge ab. Die Knorpel der achten und neunten Rippe legen sich noch aufsteigend an den aufsteigenden Theil des überliegenden Rippenknorpels an, erreichen aber das Brustbein nicht mehr; — die Knorpel der elften und zwölften Rippe liegen dagegen frei in der Bauchwand in einer Richtung, welche Fortsetzung der Richtung des zugehörigen Rippenknochens ist; — der Knorpel der zehnten Rippe hat eine unbestimmte Stellung und nähert sich in seinem Verhalten bald mehr demjenigen der überliegenden, bald mehr dem der unteren Knorpel.

An dem mehrerwähnten Brustkorbe wurden die folgenden Längen gefunden:

	Rippenknochen	Rippenknorpel
VIII. Rippe . . .	31,5 Cm. . .	2 + 6 = 8 Cm.
IX. - . . .	29,5 - . .	2 + 5 = 7 -
X. - . . .	25,5 - . . .	5 Cm.
XI. - . . .	21,5 - . . .	2 -
XII. - . . .	13,2 - . . .	1,5 -

Die allmälige Abnahme der Länge der Rippenknochen lässt die durch die vorderen Enden derselben gezogene Linie in der Seitenansicht zuletzt so rasch nach hinten verlaufen, dass die Umbiegungsstelle des zehnten Rippenknorpels der unterste Punkt in der seitlichen Mittellinie des Brustkorbes zu sein pflegt. — Die Länge dieser seitlichen Mittellinie betrug an dem durchgemessenen Brustkorb 31 Cm., die Entfernung des Kapitulum der ersten Rippe von demjenigen der zehnten Rippe betrug 19 Cm.; — die Differenz beider Grössen ist 13 Cm. und diese auf neun Zwischenräume vertheilt, gibt für den einzelnen Zwischenraum im Mittel $13^1/_3$ Mm.

Mit Zuziehung einiger oben mitgetheilten Angaben lässt sich demnach als Gesetz für die mittlere Zunahme des einzelnen Rippeninterstitiums. Die Zunahme beträgt

bis zum *angulus*	5 Mm.
bis zur seitlichen Mittellinie . .	$13^1/_3$ -
bis zum Ende des Knochens . .	15 -

Die Zunahme ist demnach zwischen dem *angulus* und der seitlichen Mittellinie am Beträchtlichsten, was damit übereinstimmt, dass man wenigstens an den mittleren Rippen von dem *angulus* an ein steileres Absteigen wahrnimmt als vorher.

Für das Verständniss des Mechanismus des ganzen Brustkorbes ist es nothwendig, erst über den Mechanismus der einzelnen Rippe möglichste Klarheit gewonnen zu haben.

1. Der Mechanismus der einzelnen Rippe.

In dem Mechanismus der einzelnen Rippe sind zwei Elemente scharf aus einander zu halten und deshalb auch besonders in Bezug auf ihr Zustandekommen und ihre Folgen zu untersuchen. Diese beiden Elemente sind

1) die Bewegung (Lageveränderung) der Rippe als eines Ganzen,

2) die Gestaltveränderung der Rippe.

Die Lageveränderung ist an jeder Rippe zu beobachten, die Gestaltveränderung dagegen als eine Haupterscheinung nur an den grösseren Rippen, deren Knorpel einen erkennbaren Umbiegungswinkel zeigt.

Die Rippe (mit ihrem Knorpel) als Ganzes kann nur gehoben und gesenkt werden. Diese Bewegung gewinnt für sich schon eine nicht unbedeutende Wichtigkeit.

Da die Rippe mit ihrem hinteren Ende an die Wirbelsäule angeheftet ist, so kann natürlich dieser Theil derselben nicht gehoben und gesenkt werden, sondern muss bei diesen Bewegungen ruhend bleiben. Die bezeichneten Bewegungen der Rippe sind dadurch als Drehbewegungen um eine in dem Wirbelende gelegene Axe charakterisirt, und die Bewegung des vorderen Endes der Rippe erscheint somit nothwendig als eine Kreisbewegung um diese Axe.

Die seitliche Verbreiterung des Brustkorbes, namentlich in seinem unteren Theile, bei der Hebung der Brustwand könnte leicht die Meinung wecken, als ob eine von vorn nach hinten durch den Körper gehende Axe für die Bewegung der Rippe massgebend werden müsse und dass um dieselbe der in der seitlichen Mittellinie des Körpers liegende Scheitelpunkt des Rippenbogens sich kreisförmig auf- und abbewege. Mit einer solchen Auffassung, welche die Erweiterung des Thoraxraumes durch Hebung der Rippen allerdings genügend erklären könnte, vertragen sich indessen nicht die von den Rippen abhängigen Bewegungserscheinungen an dem Brustbein. Denn, wenn die bezeichnete Axe wirklich die massgebende wäre, so müsste der vordere Endpunkt der Rippe und mit ihm

das Brustbein in gleicher Weise, wie der hintere Endpunkt ruhend bleiben. — Man findet aber mit den Bewegungen der Rippen verbunden stets eine Bewegung des Brustbeines; die massgebende Axe kann daher nur in dem hinteren Ende gesucht werden.

Den nächsten Hinweis darauf, wo diese Axe gefunden werden kann, kann nur die Gestalt des Wirbelendes der Rippe und namentlich die Gestalt und Lagerung seiner Gelenkflächen geben. Untersucht man nun diese, so bemerkt man als erste einen Fingerzeig gebende Bildung die Anheftung der *crista capituli costae* durch das *ligamentum intermedium* an die Intervertebralscheibe. Wenn bei einer solchen Anheftung eine Drehung des Wirbelendes der Rippe um eine in demselben gelegene Axe soll geschehen können, so muss das bezeichnete Bändchen in dieser Axe selbst liegen und die nebenliegenden beiden Gelenkflächen des Kapitulum müssen Theile der Oberfläche eines Kegels sein, dessen Spitze in jenem Bändchen liegt. Es ist mit Rücksicht auf dieses Verhältniss naheliegend, die Gelenkfläche des *tuberculum costae* als einen Theil desselben einaxigen Rotationskörpers zu deuten, welchem die beiden durch die *crista* geschiedenen Gelenkflächen des Kapitulum angehören. Leider sind die drei bezeichneten Gelenkflächen zu klein, als dass man mit den gewöhnlichen Hülfsmitteln der Durchschnitte oder der Weiterbildung der Gelenkflächen im Stande wäre, diesen Punkt in entsprechender Weise ins Klare zu setzen. Man muss deshalb zu anderen Hülfsmitteln seine Zuflucht nehmen und diese bestehen in der Beobachtung des Verhaltens von Rippen, welche man in ihren natürlichen Verbindungen bewegt, und in dem Versuche den Rotationskörper, welchen man voraussetzt, mit Benutzung der drei Gelenkflächen in Gips zu modelliren. Durch diese beiden Hülfsmittel findet man denn auch, dass die für die Bewegung der Rippe massgebende Drehaxe aus der *crista capituli* vor dem *collum costae* in horizontaler Richtung quer nach aussen und, wie es scheint, etwas nach hinten geht.

Hiermit übereinstimmend ist die Thatsache, dass die Mittellinie des *collum costae* aller Rippen annähernd horizontal gelegen ist und dass die Gelenkfläche des *tuberculum costae* auf dessen unterer hinterer Seite liegt. Erst bei dem *tuberculum* beginnt das Absteigen, beziehungsweise die divergente Richtung der Rippenknochen.

Sollte auch die Richtung der angegebenen Axe in Wirklichkeit, wie es der Fall zu sein scheint, etwas gegen hinten gerichtet sein, so kann man doch vorläufig ohne bemerkenswerthen Fehler die Axen zweier auf gleicher Höhe stehenden Rippen (z. B. der rechtseitigen und der linkseitigen fünften Rippe) als ein Kontinuum ansehen und gewinnt dadurch über die Bedeutung der Drehbewegung der Rippen für die Modifikation der Kapacität des Brustkorbes folgendes Bild:

Zwei auf gleicher Höhe gelegene Rippen bilden mit dem zwischenliegenden Stücke des Brustbeins zusammen einen Ring, welcher mit zwei Spitzen (den beiden *capitula*) an den Seiten der Wirbelsäule artikulirt. Um die durch beide Spitzen gelegte Axe kann sich die Ebene des Ringes so drehen, dass sie gegen die als gerader Stab gedachte Wirbelsäule senkrecht gestellt werden kann oder auch nach vornen geneigt. Wenn die Ebene gegen den Stab senkrecht gestellt ist, so muss der Ring vor dem Stab den grössten Raum umschliessen; — ist die Ebene aber so geneigt gegen den Stab, dass dieser ihr parallel liegt oder gewissermassen als körperlicher Durchmesser den Ring durchschneidet, dann ist der von dem Ring umgriffene Raum vor dem Stab der kleinste. Eine Reihe von parallelen Ringen dieser Art müssen, senkrecht gegen den Stab gestellt, einen cylindrischen Raum umgreifen, — dieselbe Reihe von Ringen, an dem Stabe herabhängend, wird aber nur einen spaltenförmigen Raum umfassen. — So muss auch die Reihe der Rippenringe, wenn gehoben, dem von ihnen gebildeten Brusthöhlenraum eine grössere Ausdehnung (Kapacität) geben, — eine kleinere dagegen, wenn sie hinabgesenkt ist.

Hebung der Rippen bedingt also schon für sich allein eine Erweiterung des Brustraumes, Senkung derselben dagegen eine Verengerung desselben.

Wären die Rippen alle von gleicher Länge, die durch sie gebildeten Ringe also von gleicher Grösse, so würde das Verhältniss des Einflusses der Rippenbewegung auf die Weite der Brusthöhle sich durch das Angegebene sehr einfach auffassen lassen, und auch die dem Brustbein mitgetheilte Bewegung würde sehr leicht zu verstehen sein. — Die Verhältnisse werden aber komplicirter dadurch, dass die Rippen zwischen ihrem Wirbelende und ihrem Brustbeinende eine verschiedene Länge haben. — Der Einfluss dieses Umstandes ist daher noch zu untersuchen. Ein individuelles Beispiel diene zur Erläuterung, indem die Masse für das Folgende dem mehrerwähnten Brustkorbe entnommen sind.

Der Durchmesser des durch die beiden ersten Rippen und den zwischenliegenden Theil des *manubrium sterni* gebildeten Ringes beträgt, von der gemeinsamen Axe beider Kapitula bis zur Mittellinie des Sternum 8 Cm., — der Abstand des vordersten Punktes des Ringes von einer durch die Axe der Kapitula gelegten Horizontalebene beträgt 6 Cm. — Aus diesem berechnet sich die Neigung des Ringes gegen die eben bezeichnete Ebene zu 48^0 35′ und der Abstand des vordersten Punktes des Ringes von einer durch die Axe gelegten Senkrechten zu 5,292 Cm. — Nimmt man nun eine solche Drehung des Ringes an, dass durch diese der vorderste Punkt des Ringes um 1 Cm. gehoben wird, so findet man, dass dann der Neigungswinkel des Ringes gegen die Horizontalebene auf

38⁰ 41′ vermindert worden ist, — der Abstand des vordersten Punktes von der Senkrechten dagegen auf 6,245 Cm. vermehrt.

Die bezeichnete Hebung der ersten Rippe bewegte demnach den vordersten Punkt des Ringes, d. h. den zwischen beiden ersten Rippen gelegenen Theil des *manubrium sterni* um 1 Cm. nach aufwärts und um 0,953 Cm. (also ebenfalls annähernd 1 Cm.) nach vorwärts und der dafür erforderliche Drehungswinkel betrug 8⁰ 54′.

Um die gleiche Untersuchung für die siebente (als unterste das Sternum berührende) Rippe durchzuführen, wird die zur Grundlage dienende Ringebene in der Weise gewonnen, dass ohne Rücksicht auf die in vertikaler Richtung gestellte Biegung dieser Rippe eine Ebene durch die gemeinsame Kapitulum-Axe und durch die beiden Sternalenden derselben gelegt wird. Als für weitere Bestimmungen massgebend wird durch die Axe der Kapitula sodann noch eine Horizontalebene und eine Senkrechte gelegt. — Der Durchmesser dieses Ringes in der Mittelebene des Körpers beträgt 15 Cm., — und der Abstand seines vordersten Punktes von der Horizontalebene 8 Cm. — Hieraus berechnet sich die Neigung des Ringes gegen die Horizontalebene zu 32⁰ 14′, und der Abstand des vordersten Punktes von der Senkrechten zu 12,69 Cm. — Durch eine Drehung des Ringes, durch welche der vorderste Punkt um 1 Cm. gehoben wird, wird der Neigungswinkel des Ringes gegen die Horizontalebene auf 27⁰ 49′ vermindert und der Abstand des vordersten Punktes von der Senkrechten auf 13,27 Cm. vermehrt.

Die bezeichnete Hebung der siebenten Rippe bewegte demnach den untersten Punkt des *corpus sterni* um 1 Cm. nach aufwärts und um 0,58 Cm. nach vorwärts mit einer Drehbewegung von 4⁰ 25′.

Die folgende Zusammenstellung lässt die angeführten Verhältnisse beider Rippen leicht vergleichen.

	Hebung.	Vorstoss.	Drehung der zugehörigen Rippe.
Oberes Ende des Sternum . .	1 Cm.	0,95 Cm.	8⁰ 54′
Unteres - - - . .	1 -	0,58 -	4⁰ 25′

Diese Zusammenstellung lässt erkennen, dass eine gleichmässige Hebung des ganzen Brustbeines nur unter sehr ungleicher Betheiligung der beiden äussersten wahren Rippen zu Stande kommt, indem dafür die hebende Drehung der ersten Rippe doppelt so gross sein muss wie diejenige der siebenten Rippe. Ausserdem ist auch zu erkennen, dass die Hebung insofern nicht ganz gleichmässig ist, als dabei das obere Ende des Sternum etwas weiter von der Wirbelsäule weggestossen wird, als das untere Ende. — Es ist deswegen von Interesse zu vergleichen, wie sich die Bewegung des Sternum verhalten müsste, wenn der Drehungswinkel für beide Rippen der gleiche wäre. — Die folgende Zusammen-

stellung, welche aus dem Vorangehenden sogleich verstanden wird, gibt die Ergebnisse der entsprechenden Berechnung:

	Hebung.	Vorstoss.	Drehung der zugehörigen Rippe.
Oberes Ende des Sternum	1,011 Cm.	0,962 Cm.	10°
Unteres - - -	2,324 -	1,190 -	10°
Oberes - - -	0,485 -	0,503 -	5°
Unteres - - -	1,136 -	0,650 -	5°

Bestimmend für die Wahl der Drehungswinkel wurde hierbei, dass dadurch in runden Zahlen die gefundenen Drehungswinkel der ersten Zusammenstellung annähernd wiedergegeben werden, nämlich durch 10° derjenige der ersten Rippe (8° 54′) und durch 5° derjenige der siebenten Rippe (4° 25′).

Gleichmässige Hebung des Brustbeins und gleichmässige Drehung der beiden massgebenden Rippen findet sich daher nie mit einander vereinigt.

Anmerkung: Die oben gegebene Zusammenstellung der Verhältnisse des Vorstosses und der Drehung der I. und der VII. Rippe liess erwarten, dass unter Voraussetzung ungleicher Drehungswinkel beider Rippen sich doch Bedingungen für gleichmässige Hebung und gleichmässigen Vorstoss beider Enden des Brustbeines würden auffinden lassen. Von solcher Gleichmässigkeit der Hebung um 1 Cm. und des Vorstosses um 0,95 Cm. (wie er für die erste Rippe gefunden war) ausgehend, war durch Rechnung zu finden, dass dieselbe zu Stande kommen kann, wenn der Durchmesser des VII. Rippenringes zu 15,33 Cm. (statt zu 15 Cm.) gesetzt wird; die erforderliche Drehung beträgt alsdann 5° 4′. — Der Längenunterschied von 0,33 Cm. kann bei der Unmöglichkeit, an den betreffenden Theilen absolut genaue Masse zu nehmen, in den Beobachtungsfehler fallen und man ist deshalb berechtigt den Satz aufzustellen, dass eine gleichmässige Abhebung des Brustbeines nach vorn und oben durch alleinige Drehbewegung der Rippen zu Stande kommen kann, wenn die Drehung der siebenten Rippe etwas mehr als die Hälfte derjenigen der ersten Rippe beträgt (5° 4′ : 8° 54′). Die zwischenliegenden Rippen müssen dann zwischenliegende Grade der Drehung zeigen.

In dem Bisherigen ist eine jede Rippe als ein in sich unveränderliches Ganze angesehen und der Einfluss der Drehbewegung um die Axe der Kapitula untersucht worden. Für die erste Rippe ist die Voraussetzung, dass sie in sich unveränderlich sei, vollständig gerechtfertigt, denn wesentlicher Gestaltveränderungen ist ihr kurzer und dicker Knorpel nicht fähig. — Weniger gerechtfertigt ist sie aber für die siebente Rippe, denn diese besitzt bekanntlich einen langen Knorpel, dessen Länge ungefähr 1/2 der Länge des Rippenknochens beträgt; und dieser Knorpel besitzt ausser der entsprechenden Biegsamkeit noch eine vorgebildete Biegung bekannter Gestalt. An der Biegungsstelle ist

eine Bewegung zwischen dem dem Sternum näher liegenden Haupttheil des Knorpels (8 Cm.) und dem Rippenknochen (33 Cm.) möglich, welche der Beuge- und Streckbewegung in einem Ginglymus verglichen werden kann; die Umbiegungsstelle selbst ist in dem Knorpel ungefähr 2 Cm. von dem Ende des Knochens entfernt. — Da die beiden Endtheile der Rippe (mit dem Knorpel) an der Wirbelsäule und dem Brustbeine befestigt sind, so kann die bezeichnete Bewegung in der Biegungsstelle nur in der Weise geschehen, dass mit einer Art von Streckbewegung der Winkel stumpfer und die Umbiegungsstelle gehoben wird, — oder dass mit einer Art von Beugebewegung der Winkel spitzer und die Umbiegungsstelle hinabgesenkt wird.

Der Einfluss dieses Verhältnisses auf die Bewegungen des Brustkorbes ist jetzt noch zu untersuchen.

An dem gemessenen Brustkorbe ist die Länge der siebenten Rippe in gerader Richtung von dem Kapitulum bis zu dem Knickungspunkte des Knorpels 20 Cm.; dieser Theil heisse, wenn auch noch ein Stück Knorpel von 2 Cm. Länge dabei ist, Rippenknochen; — der zum Brustbein aufsteigende Haupttheil des Knorpels hat eine Länge von 8 Cm.; unter Rippenknorpel sei in dem Folgenden nur dieses Stück verstanden. — Der Knickungswinkel liegt 14 Cm. unter einer durch die Kapitula der beiden siebenten Rippen gelegten Horizontalebene, und 7 Cm. unter einer durch die Sternalenden beider Knorpel gelegten Horizontalebene.

Mit Hülfe dieser Masse findet man, dass der Rippenknochen gegen die durch die Kapitula gelegte Horizontalebene eine Neigung von 44° 26′ hat; — und seine Projektion auf diese Ebene eine Länge von 14,29 Cm. — Der Knorpel hat gegen die durch sein Sternalende gelegte Horizontalebene eine Neigung von 61° 3′, und seine Projektion auf diese Ebene hat eine Länge von 3,872 Cm. — Diese Zahlen ändern sich durch Hebung des Knickungswinkels in folgender Weise:

Hebung	Rippenknochen.		Rippenknorpel.	
	Neigungswinkel.	Projektion.	Neigungswinkel.	Projektion.
um 1 Cm.	40° 32′	15,20 Cm.	48° 35′	5,292 Cm.
um 2 -	36 52	16,00 -	38 41	6,245 -
um 3 -	33 22	16,70 -	30 00	6,928 -
um 4 -	30 00	17,32 -	22 01	7,416 -

Hieraus bestimmt sich für einen jeden der aufgestellten Hebungsgrade: 1) die Winkelbewegung, welche aus der Ausgangsstellung zu ihrer Erreichung ausgeführt wird, 2) die Verlängerung der Projektion auf die zugehörige Ebene, — Vorstoss des vorderen Endes für den Rippen-

knochen, — Rückstoss des hinteren Endes für den Rippenknorpel folgendermassen:

für Hebung	Rippenknochen.		Rippenknorpel.	
	Winkel.	Vorstoss.	Winkel.	Rückstoss.
um 1 Cm.	3° 54′	0,91 Cm.	12° 28′	1,420 Cm.
um 2 -	7 34	1,71 -	22 22	2,373 -
um 3 -	11 04	2,41 -	31 03	3,056 -
um 4 -	14 26	3,03 -	39 02	3,544 -

Der Abstand des Kapitulum von dem Sternalende des Knorpels in der Peripherie des Brustkorbes gemessen nimmt deswegen um folgende Grössen zu:

für Hebung		*P.*
um 1 Cm.	0,91 + 1,420 = 2,330 Cm.	4,660 Cm.
um 2 -	1,71 + 2,373 = 4,083 -	8,166 -
um 3 -	2,41 + 3,056 = 5,466 -	10,932 -
um 4 -	3,03 + 3,544 = 6,574 -	13,148 -

In dieser Zusammenstellung ist unter *P* durch Verdoppelung der Längenzunahme der einzelnen Rippe die dadurch gegebene Zunahme des Umfanges des Brustkorbes an dieser Stelle gewonnen.

Die Streckung der in ihrem Knorpel geknickten Rippen, als deren Typus in Obigem die siebente Rippe untersucht ist, ist daher für sich allein schon ausreichend, wenigstens in dem unteren Theile des Brustkorbes eine beträchtliche Erweiterung zu erzielen.

Unter welchen Nebenerscheinungen muss nun aber diese Erweiterung zu Stande kommen?

Der Gedanke liegt nahe, dass eine Streckung der siebenten Rippe den untersten Theil des Brustbeines weiter nach vornen stosse, — eine Beugung derselben dagegen denselben Theil nach hinten ziehe. — Eine solche Auffassung ist zwar genügend, wenn man sich in einfachster und kürzester Weise den Erfolg jener in der Rippe selbst stattfindenden Bewegungen vergegenwärtigen will. — Genauere Zerlegung der Vorgänge lässt indessen eine solche Auffassung nur als theilweise wahr erkennen.

Die erste Frage, deren Untersuchung sich hier aufdrängt, ist die: ob und in wie weit ein selbstständiger Vorstoss des untersten Endes des Brustbeines bei ruhendem oberen Ende desselben möglich sei.

Eine solche Möglichkeit kann sich natürlich zunächst nur auf die Torsionsfähigkeit des Knorpels der ersten Rippe stützen, denn die Fixirung des obersten Endes des Brustbeines durch die beiden ersten Rippen muss als der ruhende Punkt für den selbstständigen Vorstoss des unteren Endes des Brustbeines angesehen werden.

Die Länge des Brustbeines beträgt 15 Cm. und die Projektion desselben auf eine aus dem oberen Ende gefällte Senkrechte beträgt 14 Cm. — Hieraus berechnet sich der Neigungswinkel des Brustbeines gegen diese Senkrechte auf 21° 2′, und der horizontale Abstand des unteren Endes von derselben Senkrechten auf 5,384 Cm. — Mit Hülfe dieser Zahlen lässt sich nun ohne Schwierigkeit finden, dass durch einen Vorstoss des unteren Endes des Brustbeines um 1 Cm. der Neigungswinkel gegen die Senkrechte auf 25° 13′ gebracht wird und durch einen Vorstoss um 2 Cm. auf 29° 30′.

Die Torsion des ersten Rippenknorpels würde deshalb für den Vorstoss um 1 Cm. für 4° 11′ (25° 13′—21° 2′) in Anspruch genommen, — und für den Vorstoss um 2 Cm. für 8° 28′ (29° 30′—21° 2′). — Die Möglichkeit der selbstständigen Bewegung des unteren Endes des Brustbeines beruht also zunächst auf der Möglichkeit, dass die Elasticität des ersten Rippenknorpels im Stande sei, einem solchen Anspruche zu genügen.

In zweiter Linie wird aber auch die Symphysenverbindung zwischen dem Manubrium und dem Körper des Brustbeines als Hülfsmittel dafür zu erkennen sein, dass die Bewegung des untersten Theiles des Brustbeines in eine gewisse Unabhängigkeit von derjenigen seines obersten Theiles gestellt sei.

Nachdem somit die Möglichkeit einer selbstständigen Bewegung des unteren Brustbeinendes anerkannt ist, muss die zweite Frage sich aufdrängen, die Frage nämlich, in wie weit an einem richtig gebauten Brustkorbe diese Möglichkeit wirklich in Anspruch genommen wird. Für die Beantwortung dieser Frage ist zuerst auf die Lage der Rippenknorpel zu achten. Untersucht man diese, so findet man, dass durch die vorderen (vor dem Einknickungspunkte gelegenen) Theile der unteren langen Rippenknorpel der V., VI., VII., VIII. Rippe eine annähernd gerade Ebene gelegt werden kann, welche mit ihrem äusseren Theile nur wenig gegen hinten gewendet ist. In dieser Ebene muss sich also der Knorpel der siebenten Rippe bewegen, wenn er um sein Sternalende gehoben wird, — und der oben näher angegebene Rückstoss des hinteren Endes des Knorpels muss daher mehr nach aussen als nach hinten gerichtet sein.

Legt man nun eine Vertikalebene durch das Kapitulum und den Knickungspunkt der siebenten Rippe, so kann man ohne einen grossen Fehler und mit einer für vorliegenden Zweck genügenden Genauigkeit diese Ebene als diejenige bezeichnen, in welcher sich das Ende des Rippenknochens (der Einknickungspunkt) bei der Hebung bewegt. — Diese Ebene weicht mit ihrem vorderen Theile nur wenig zur Seite ab, denn die Kapitula beider siebenter Rippen sind 4 Cm. von einander entfernt und die Einknickungspunkte derselben 18 Cm.; — die Ebene ent-

fernt sich also um 7 Cm. von der Mittelebene des Körpers. — In dieser Ebene bewegt sich denn auch der oben näher angegebene Vorstoss des Rippenknochens.

Lässt man nun eine Hebung des Knickungswinkels um 1 Cm. zu Stande kommen, während die Wirbelsäule und das Sternum als unbeweglich gedacht werden, so wird das Ende des Rippenknochens einen Vorstoss um 0,91 Cm. und das Ende des Rippenknorpels einen Rückstoss um 1,42 Cm. erfahren. Beide Bewegungen stossen unter einem Winkel zusammen und müssen sich deshalb als Komponenten zu einer Resultirenden vereinigen, welche annähernd in radialer Richtung auf der Peripherie des Brustkorbes steht. Der Einknickungspunkt der siebenten Rippe wird demnach mit der Hebung zugleich nach auswärts getrieben. Die in dem Einknickungspunkte sich äussernde Rückwirkung muss sich dann aber in den beiden auf einander wirkenden Theilen geltend machen, und zwar muss dieses wegen der Biegsamkeit der Theile in Gestalt einer über die ganze Rippe (Knochen und Knorpel) vertheilten elastischen Spannung geschehen.

Die Folge der Hebung des Knickungswinkels der siebenten Rippe muss daher eine auf die ganze Peripherie sich vertheilende allgemeine Erweiterung des unteren Theiles des Brustkorbes sein.

Die Rückwirkung dieser Spannung auf die beiden Endpunkte muss dann:

1) den unteren Theil des Brustbeines etwas nach vornen treiben, und
2) den hintersten Theil der siebenten Rippe etwas nach hinten treiben, was dadurch möglich ist, dass schon von der sechsten Rippe an die Gelenkverbindung zwischen dem *tuberculum costae* und dem *processus transversus* mehr an dem unteren Rande des ersteren und dem oberen Rande des letzteren liegt, so dass eine geringe Verschiebung nach hinten und aufwärts in derselben möglich ist.

2. Die Bewegung des ganzen Brustkorbes.

Die in dem Obigen geführte Untersuchung über die Bewegung der einzelnen Rippe und über die nächsten Folgen dieser Bewegung hat erkennen lassen, dass die Trennung der Rippen nach ihrer äusseren Gestalt in zwei Kategorien zugleich einen wichtigen Hinweis auf eine Scheidung in der funktionellen Bedeutung enthält. Vergleichende Untersuchung der ersten und der siebenten Rippe als der beiden typischsten Rippen hat diese Thatsache ins Licht stellen können.

Vergleicht man nun die Gestalten der einzelnen Rippen unter einander und mit den aufgestellten beiden Typen, so findet man einen allmäligen Uebergang der Gestalt von der ersten bis zu der siebenten Rippe. Die zweite Rippe hat noch den Charakter der ersten insofern, als die Richtung ihres Knorpels die Richtung ihres Knochens fortsetzt, aber sie weicht insofern doch wieder von dem Typus der ersten Rippe ab, als ihr Knorpel länger ist und deswegen dem Rippenknochen eine unabhängigere Bewegung gestattet. Die dritte Rippe zeigt häufig schon eine Andeutung von Aufsteigen ihres Knorpels, — entschiedener pflegt eine solche bei der vierten Rippe aufzutreten. Ganz allgemein zeigt die fünfte Rippe schon ein beträchtliches Aufsteigen ihres Knorpels, und die sechste Rippe hat bereits eine vollkommene Aehnlichkeit mit der siebenten.

In dem vorhergehenden Abschnitte war nun gefunden:

1) dass die beiden typischen Rippen eine solche Hebung erfahren können, dass dadurch das Brustbein nach oben und vornen abgehoben und somit eine grössere Kapacität des Brustraumes erzielt wird, und

2) dass die siebente Rippe noch für sich eine seitliche Hebung erfahren kann, welche in der Gegend, in welcher sie gelegen ist, die Peripherie des Brustkorbes direkt vergrössert.

Wird durch Muskelthätigkeit die Brusthöhle für den Zweck tieferer Einathmung erweitert, so muss demnach die ganze Rippenwand jeder Seite als Ganzes gehoben werden und der untere Theil des Brustkorbes dabei noch eine seitliche Erweiterung erfahren. Am stärksten muss diese letztgenannte Erweiterung in dem untersten Theile des Brustkorbes auftreten und nach oben hin sich allmälig verlieren.

Es ist nun auch noch ein Blick auf die sogen. falschen Rippen zu werfen. Von diesen sind die wichtigsten die achte, neunte und zehnte, welche in ihrer wesentlichen Gestalt entschiedene Aehnlichkeit mit der siebenten Rippe zeigen, aber in bekannter Weise frei endigen, ohne mit dem Brustbeine verbunden zu sein; — dagegen ist aber das freie Ende des Knorpels einer jeden dieser Rippen fest, aber beweglich, mit dem Knorpel der überliegenden Rippe verbunden. — Diese Anordnung muss für den Mechanismus dieser Rippen und somit für denjenigen des ganzen Brustkorbes eine besondere Bedeutung gewinnen. — Es ist nämlich deutlich, dass sie wegen der Gestalt ihres Knorpels eine ähnliche Streckung müssen erfahren können, wie die siebente Rippe. Die Folgen einer solchen Streckung können aber nicht ganz dieselben sein, wie bei dieser. Die siebente Rippe wird nämlich stark nach auswärts gewälzt, weil sie an dem Brustbeine einen Widerstand findet; einen solchen Widerstand finden die nächstgelegenen falschen Rippen nicht; in ihnen

kann deswegen während der Hebung die Streckung reiner hervortreten und eine Umwälzung nach aussen haben sie deswegen nicht so entschieden zu erfahren, müssen aber allerdings, namentlich die achte Rippe, der seitlichen Bewegung der siebenten Rippe in etwas folgen. — Die Bewegungen der bezeichneten drei falschen Rippen müssen daher zu der Verkürzung der Rippenwand beim tieferen Einathmen beitragen, weniger dagegen zu der direkten Erweiterung der Peripherie in dem unteren Theile des Brustkorbes. Unterhalb der siebenten Rippe ist daher auch der gehobene Brustkorb wieder etwas schmaler.

Die beiden unteren falschen Rippen als frei in der muskulosen Rumpfwandung endigend, können eine wichtigere Bedeutung für den Mechanismus des Brustkorbes nicht gewinnen.

Aus dem Entwickelten ist nunmehr auch möglich, die beiden Grundformen der Thoraxrespiration genauer zu charakterisiren.

Man unterscheidet bekanntlich eine

Unterrippen-Respiration und eine
Oberrippen-Respiration.

Die Unterrippen-Respiration ist bezeichnet durch Ausdehnung der unteren Brustgegend. Sie ist die leichteste Form der Thoraxrespiration und besteht in der Bewegung der unteren Rippen nach der im Obigen entwickelten Weise. Für sie genügt die Thätigkeit der Interkostalmuskeln, welche die unteren Rippen gegen die ruhenden oberen Rippen hinziehen. Dass diese Bewegung dennoch eine so bedeutende wird, erklärt sich leicht daraus, dass die unteren Rippen eine gehäufte Bewegung trifft, indem eine jede Rippe einerseits der überliegenden folgen muss und andererseits noch eine Näherung an diese erfährt. — Für stärkeres Athmen, für welches die Aktion des Zwerchfells allein nicht mehr genügt, tritt daher auch zuerst die Unterrippen-Respiration ein.

Die Oberrippen-Respiration ist bezeichnet durch eine Hebung der oberen Rippen; bei ihr findet also die Erweiterung des Brustkorbes durch die Hebung aller Rippenringe statt. — Sie tritt bei stärkerem Athmen überall da auf, wo die leichtere und einfachere Form, die Unterrippen-Respiration, behindert ist, was namentlich bei beengenden Kleidungsstücken der Fall ist. — Der vermeintliche sexuelle Unterschied in dem Vorkommen der beiden Arten der Thorax-Respiration erklärt sich hiernach sehr leicht, — die freiere männliche Kleidung gestattet die Anwendung der Unterrippen-Respiration, — die engere weibliche Kleidung, welche namentlich den unteren Theil des Brustkorbes eng umschliesst und seine Erweiterung hemmt, nöthigt dagegen zu der Anwendung der Oberrippen-Respiration.

In den stärksten Athmungsbewewegungen bei freier Beweglichkeit der Brustwand verbinden sich beide Formen der Athmungsbewegungen mit einander und es findet alsdann nur noch ein unwesentlicher Unterschied zwischen zwei verschiedenen Graden dieser stärksten Bewegungen statt. In dem leichteren Grade genügt nämlich die Wirbelsäule als *punctum fixum* für die Hebung der Rippen; — in dem angestrengtesten Grade werden noch der Schultergürtel und der zurückgebeugte Kopf als *punctum fixum* zu Hülfe genommen und damit eine grössere Menge hebender Muskelkräfte in Thätigkeit gesetzt. — Für den Mechanismus in der Bewegung der Rippen selbst bedingt dieses indessen gar keinen Unterschied.

Die Senkung der Brustwand. In dem Bisherigen ist nur Rücksicht genommen auf die Hebung der Brustwand und die Betheiligung der Rippenbewegung an derselben, weil diese die grösste funktionelle Bedeutung erlangt. Es ist nun auch noch der Senkung der Brustwand mit einigen Worten zu gedenken.

Als leichtester Grad der Senkung ist die Rückkehr in den Ruhestand aus dem gehobenen Zustande zu erkennen. Die Kräfte, welche diese zu Stande bringen, sind theils die Elasticität der Rippen und ihrer Knorpel, theils der äussere Luftdruck, welche beide nach dem Aufhören der inspiratorischen Muskelthätigkeit in Wirkung treten. In Etwas mag auch noch die Schwere mitwirken. Die Gestaltveränderung und Lagenveränderung, welche die Rippen hierbei erfahren, sind nur Rückkehr in die ursprüngliche ruhende Gestalt und Lage, und machen deshalb eine besondere Besprechung nicht nothwendig.

Eine Senkung über den Ruhezustand hinaus kann allerdings durch Muskelthätigkeit erreicht werden, ist jedoch nicht in bedeutenderem Grade möglich. — Stärkere Senkungen des Brustkorbes treten stets nur in Folge veränderter Haltung der Wirbelsäule oder in Folge der Einwirkung äusserer Gewalt auf.

Veränderung in der Haltung der Wirbelsäule innerhalb der Grenzen des Normalen äussert Einfluss auf die Haltung der Brustwand am deutlichsten in senilen Körpern. In der senilen Wirbelsäule nimmt die Krümmung der Brustwirbelsäule beträchtlich zu und der Einfluss, welchen dieses Verhältniss auf den Brustkorb äussert, lässt sich ohne Schwierigkeit ableiten. — Die obere Abtheilung der Brustwirbelsäule neigt sich mit der Zunahme der Krümmung mehr nach vornen hinab; mit diesem muss sich nothwendiger Weise auch die Lage der ersten Rippe in der Art ändern, dass sie stärker nach unten abfällt, also eine gesenktere Lage erhält; — in Folge dieser Lagenveränderung muss auch das Brustbein seine Lage ändern, indem es einerseits mit dem Ende der ersten Rippe in eine tiefere und der Wirbelsäule nähere Stellung

überhaupt kommen muss und indem es andererseits mit seinem unteren Ende der Wirbelsäule noch besonders genähert werden muss, wenn es die Stellung zur ersten Rippe beibehält; — das Zurückdrängen des Brustbeines muss dann auf die Rippen einen Einfluss üben, welcher sich am deutlichsten an der siebenten als der längsten Rippe aussprechen muss. Indem nämlich das Sternalende des Rippenknorpels nach hinten gedrängt wird, muss nothwendiger Weise die Knickung desselben vermehrt und damit der Knickungswinkel nach unten gedrängt werden. Der Rippenknorpel wird dadurch steiler gestellt und der Knochen der siebenten Rippe mit seinem vorderen Ende stark hinabgesenkt. Derselbe Process muss in gleicher Weise in der sechsten und in der fünften Rippe vor sich gehen, und in der vierten und dritten Rippe muss eine entschiedenere Knickung des Knorpels auftreten. Auf solche Art müssen also sämmtliche mit dem Brustbeine direkt in Verbindung stehende Rippen unter Vermehrung ihrer Knickung hinabgedrückt werden und zwar die unteren mehr als die oberen, weil sie längere Knorpel besitzen; die falschen Rippen erhalten von dem Knorpel der siebenten Rippe die Fortpflanzung des Druckes und nehmen denselben mit dem vorderen Ende ihres Knorpels in gleicher Weise auf, wie die siebente Rippe ihn von dem Brustbeine aufnimmt; für sie muss daher auch die Folge die gleiche sein, dass sie nämlich ebenfalls unter Vermehrung ihrer Knickung gesenkt werden. Mit der durch diese Processe nothwendigen Näherung des Sternalendes der unteren Rippen gegen das Vertebralende derselben muss zugleich auch die Peripherie des unteren Theiles des Brustkorbes kleiner und dieser somit in seinen Durchmessern kleiner werden.

Der senile Thorax findet demnach den Grund seiner Gestaltung in der stärkeren Biegung seiner Brustwirbelsäule; er ist

1) flacher wegen der Senkung sämmtlicher Rippenringe und damit verbundener Näherung des Brustbeines an die Wirbelsäule; — aus dem gleichen Grunde ist er auch
2) als Ganzes weiter nach unten gestellt;
3) ist er in seinen Seitenflächen beträchtlich verlängert wegen der grösseren Entfaltung der Rippenwände,
4) ist er namentlich in seinem unteren Umfange sehr verengert und
5) ist wegen steilerer Stellung der Rippenknorpel die sogenannte Herzgrube zu einem sehr spitzen Winkel verengert.

Es ist nicht zu übersehen, dass diese Form, so weit es ihre Genese angeht, wohl selten nur in Reinheit gefunden wird, denn in einem Körper, in welchem sich das Alter in so entschiedener Weise in der Krümmung der Wirbelsäule ausspricht, pflegt die senile Rückbildung (Marasmus) der Lungen ebenfalls schon in solchem Grade vorhanden zu sein, dass dadurch die Bildung eines marastischen Brustkorbes veranlasst wird,

welcher dieselben Formen zeigt, wie der senile, mit Ausnahme der Krümmung der Wirbelsäule. Ein gleichzeitig vorhandener Lungenmarasmus muss also in den meisten Fällen die Ausbildung des senilen Brustkorbes unterstützen.

Als zweite Ursache für stärkere Senkung des Brustkorbes wurde oben Einwirkung äusserer Gewalt bezeichnet. Typisch für diese steht das Schnürleib da, durch welches die senile Form des Brustkorbes nachgeahmt wird, so weit dieses ohne Biegung der Brustwirbelsäule möglich ist. Dem allseitig wirkenden Drucke weichend wird das Brustbein unter Senkung aller Rippenringe hinabgedrängt und der Wirbelsäule genähert und die vorzugsweise gedrückten unteren Rippen, genöthigt, sich einer kleineren Peripherie anzupassen, drängen sich unter vermehrter Einknickung und Verengerung der Herzgrube weit nach unten.

In Fällen, in welchen die Lunge nicht mehr den normalen Ausdehnungsgrad erreichen kann, oder für Anfüllung durch Luft in einem grossen Theile nicht mehr geeignet ist, wie bei marastischen und phthisischen Lungen, wirkt der äussere Luftdruck, welchem nicht mehr durch die normal gefüllten Lungen ein Widerstand gesetzt ist, in ähnlicher Weise und mit den gleichen Folgen allseitig auf den Brustkorb ein.

Der senile, der marastische, der phthisische und der geschnürte Brustkorb zeigen demnach die gleiche Grundform, wenn auch vielleicht mit kleinen Modifikationen.

Anmerkung: Es ist sehr auffallend, dass Sömmerring in seiner kleinen Schrift über die Schnürbrüste die richtige Auffassung von dem Einflusse des Schnürens auf die Gestaltung des Brustkorbes nicht gefunden hat und eine mangelhafte Entwickelung der unteren Rippen in die Länge als die Folge desselben erkennen zu müssen glaubte. — Es würde sich nicht lohnen, auf diesen Irrthum noch besonders aufmerksam zu machen, wenn nicht seine auf diese Auffassung gegründete Zeichnung von dem geschnürten Brustkorbe eines »Modedämchens« immer wieder in popularisirenden Schriften und Aufsätzen reproducirt würden, wodurch die unrichtige Anschauung immer von Neuem aufgefrischt wird. — Die beabsichtigte Einwirkung auf das Publikum ist wohl besser, als durch ein solches unwahres Zerrbild, durch die Versicherung (und den bildlichen Nachweis dafür) zu erreichen, dass der geschnürte Brustkorb eine künstliche Nachahmung des senilen und des phthisischen Brustkorbes ist. — Der nachtheilige Einfluss des Schnürens auf die Baucheingeweide lässt sich auch leichter und verständlicher nachweisen, wenn man zeigen kann, wie die hinabgedrückten Rippenwände den Bauchraum verengern, so dass die Fläche der freien Bauchwand bedeutend verkleinert wird und alle Baucheingeweide gegen diese verkleinerte Bauchwand und in das Becken hinabgedrängt werden.

3. Die bewegenden Kräfte an dem Brustkorb.

In dem Obigen ist bereits auf die Mitwirkung Rücksicht genommen, welche in den Bewegungen der einzelnen Rippen und der ganzen Brustwand der Elasticität und dem äusseren Luftdruck zukommt. Es ist daher hier nur noch über den Einfluss der Muskulatur auf die Bewegung der Rippen zu reden.

Um diesen verstehen zu können, ist vor allen Dingen im Auge zu behalten, dass die Rippen nicht das Ursprüngliche und die Muskeln das Angelagerte sind; sondern, dass vielmehr als Uranlage der Rumpfwandung der muskulose Schlauch anzusehen ist, in welchem die Knochen, insbesondere die Wirbelsäule und die Rippen als mehr accidentelle Einlagerungen erscheinen, welche dann allerdings wieder Ausgangspunkte für Modifikationen der typischen Schlauchmuskulatur werden können und müssen.

Es ist hier nicht am Platze, diesen Satz vollständig durchzuführen und namentlich das Verhältniss des grossen hinteren Längszuges der Rumpfmuskulatur zu der Wirbelsäule zu untersuchen. Es genügt, die soeben aufgestellte Auffassung so weit auszuführen, als sie im Stande ist, den Mechanismus des Brustkorbes zu erklären.

Ein jeder muskulose Schlauch zeigt zwei Hauptrichtungen in der Anordnung seiner Muskelfasern, eine longitudinale (Längsfaserschicht) und eine peripherische (Ringfaserschicht). — Die Ringfaserschicht scheint überall als eine zusammenhängende Schicht dicht neben einander gelagerter Muskelfasern vorzukommen; — die Längsfaserschicht kann indessen sowohl in derselben Gestalt auftreten, wie an dem Dünndarm, oder in Gestalt vereinzelter Muskelstreifen, wie an dem Dickdarm. Beide Arten von Muskelfasern wirken in ihrer Zusammenziehung verkleinernd auf den Hohlraum des Schlauches ein, — die Ringschicht verengernd in der Richtung des Durchmessers, — die Längsschicht verkürzend in der Richtung der Axe.

Zu diesen typischen Faserrichtungen kommen auch wohl noch schräg verlaufende Faserzüge. Neue Grundsätze bringen diese indessen nicht in die Bewegung der Schlauchwand. Sie stellen nur durch die Richtung ihres Verlaufes und somit auch ihrer Wirkung gewissermassen eine Verkörperung der Resultirenden aus der Wirkung der beiden typischen Faserzüge dar. Ihre Wirkung bedingt deswegen als einfache Wirkung eine Verkleinerung des Hohlraumes in den beiden oben bezeichneten Richtungen zugleich, — kann aber auch, je nach Bedürfniss in der Untersuchung in die beiden in ihr enthaltenen typischen Wirkungen zerlegt werden.

Die Einlagerung der Wirbelsäule in den als Grundgestalt zu denkenden muskulosen Schlauch der Rumpfwandung gibt sich zunächst dadurch als beeinflussend für die Anordnung der Faserzüge kund, dass alle ringförmigen Faserzüge (peripherische und schräge) durch die Wirbelsäule eine Unterbrechung erfahren und dadurch eine schlingenförmige Anordnung erhalten. Die Wirkung der ringförmigen Faserzüge muss dadurch in einem sehr wesentlichen Punkte modificirt werden. Während nämlich in dem reinen Muskelschlauche die verengernde Wirkung von allen Punkten der Peripherie her gegen die Axe des Schlauches gerichtet ist, muss durch die Einlagerung der Wirbelsäule in einen Theil der Peripherie dieser letztere festgestellt und dadurch als derjenige Punkt bezeichnet werden, welchem alle anderen Punkte der Peripherie sich bei der Zusammenziehung der nun schlingenförmig gewordenen ringförmigen Muskulatur nähern müssen.

Die Muskulatur des Rumpfes besteht nun aus folgenden vier Elementen:

1) einer reinen Ringschicht,
2) einer ovalen Ringschicht, welche in schräger Richtung so durch die Rumpfwandung zieht, dass ihr grösster Durchmesser in der Mittelebene des Körpers von unten hinten nach vorn oben aufsteigt,
3) einer ähnlichen schräg-ovalen Ringschicht, deren grösster Durchmesser von hinten oben nach vorn unten absteigt,
4) einer Längsschicht in Gestalt eines vorderen und eines hinteren rundlichen Zuges; die Mittellinie des Körpers theilt aber jeden der beiden Züge in je einen in sich geschlossenen rechtsseitigen und einen ebenso beschaffenen linksseitigen Zug, so dass also eigentlich vier Längszüge oder besser: zwei Paar Längszüge gefunden werden.

Die reine Ringschicht (1) wird gebildet durch den *m. transversus abdominis* und dessen Brusttheil den *m. triangularis sterni.*

Die schräg aufsteigende Schicht (2) wird gebildet durch den *m. obliquus abdominis internus* und dessen Fortsetzung die *m. intercostales interni* (von den *processus transversi* entspringende Abtheilung), — und von dem *m. serratus posterior inferior* (von den *processus spinosi* kommende Abtheilung). — Ohne Zwang kann auch noch zu der ersteren Abtheilung die vordere Portion des *m. quadratus lumborum*, der *m. scalenus lumborum*, gerechnet werden.

Die schräg absteigende Schicht (3) hat ebenfalls zwei Ursprungsportionen, welche beide sich in dem *m. obliquus abdominis externus* vereinigen. Die eine Ursprungsportion kommt von den *processus transversi* und besteht aus den *m. scaleni* und den *m. levatores*

costarum nebst der Fortsetzung beider, den *m. intercostales externi.* — Die zweite Ursprungsportion kommt von den *processus spinosi* und besteht aus dem *m. serratus posterior superior* und dem durch den *m. rhomboides* und den *m. serratus magnus* dargestellten flachen Muskelzug, welche beide sich früher oder später der ersterwähnten von den *processus transversi* kommenden Portion beischliessen. — Dass die eingefügte *basis scapulae* den *m. rhomboides* und den *m. serratus magnus* scheidet, darf nicht hindern, sie beide als einen einheitlichen Muskelzug anzusehen.

Den vorderen Längszug (4) stellt der *m. rectus abdominis* und der *m. sterno-mastoideus* dar; — den hinteren das System des *m. sacro-spinalis* und die Wirbelsäulen-Muskulatur. Vornen ist bekanntlich der *m. rectus abdominis* zwischen die aponeurotischen Blätter der beiden schrägen Muskelzüge eingeschlossen; — und der hintere Längszug ist in ähnlicher Weise von den beiden Ursprungsportionen der beiden schrägen Züge umgriffen. — Der *m. transversus abdominis* nimmt insofern an dieser Einschliessung Theil, als er sich vornen und hinten eng mit dem inneren (aufsteigenden) schrägen Zuge verbindet.

Diese vier Züge müssen sämmtlich durch ihre Wirkung die Rumpfhöhle verengern, beziehungsweise verkürzen, mit theilweiser Ausnahme indessen des hinteren Längszuges, welcher in viele einzelne kleine Theile zersplittert mehr Bedeutung für die Bewegung der Wirbelsäule und des Kopfes gewinnt, als dass er auf die Kapacität der Rumpfhöhle einen wesentlichen Einfluss ausüben könnte.

Wenn soeben ausgesprochen wurde, dass die verschiedenen Rumpfwandungszüge stets auf eine Verengerung der Rumpfhöhle hinwirken, so waren dieselben dabei nur für sich und in ihrer Verbindung mit der Wirbelsäule gedacht. Dadurch, dass die Rippen mit dem Brustbein, in die Rumpfwandung eingeschaltet, die Kontinuität jener Züge unterbrechen, wird indessen in diese Wirkung eine Modifikation eingeführt der Art, dass unter gewissen Verhältnissen durch gewisse Abtheilungen der Muskulatur eine örtliche Erweiterung der Rumpfhöhle hervorgebracht werden muss und zwar des von den Rippen umschlossenen Theiles derselben, d. h. der Brusthöhle.

Im Allgemeinen wird der Satz als Hauptsatz festgehalten werden müssen, dass sämmtliche Rumpfmuskulatur mit Beziehung auf Verengerung der Rumpfhöhle angelegt ist, und es wird für Untersuchung des Einflusses der Muskeln auf die Rippen nur zu erforschen sein, in wie fern die Anwesenheit der Rippen dieses Grundverhältniss stören oder umkehren kann.

In Früherem wurde nun gesehen, dass die Rippen eine Anzahl gesenkter Ringe darstellen, deren Hebung nach oben dem von ihnen um-

schlossenen Raume eine grössere Kapacität verleiht, und daraus geht von selbst hervor, dass als Erweiterer der Brusthöhle alle diejenigen Theile der Rumpfmuskulatur wirken müssen, welche die Rippenringe hinaufziehen. Aus der bekannten Anordnung der Muskeln ist aber leicht zu erkennen, dass als Heber dieser Art nur solche Theile der Rumpfwandungs-Muskulatur wirken können, welche von einem ausserhalb der Rippenwand gelegenen relativ festen Punkte zu den Rippen h i n a b steigen. Als Heber der Rippen werden also nur funktioniren können

1) der obere Theil des vorderen Längszuges, nämlich der *m. sterno-mastoideus*, wenn der Kopf fixirt ist, und
2) der obere Theil des schräg absteigenden Zuges in seinen beiden Portionen, nämlich einestheils die *m. scaleni*, *m. levatores costarum* und beider Fortsetzung als *m. intercostales externi*, — und anderentheils der *m. serratus posterior superior* und die vereinigten *m. rhomboides* und *m. serratus magnus* beziehungsweise bei sonstiger Fixirung des Schulterblattes der letztere allein.

Alle übrigen Theile der Rumpfmuskulatur bleiben bei ihrer verengernden Wirkung, welche indessen durch ihre Verbindung mit den Rippen theilweise etwas modificirt wird.

Was nun die Wirkungsweise einzelner besonderer Muskeln oder Muskeltheile angeht, so ist es ohne besondere Ausführung zu verstehen, wie der *m. sterno-mastoideus*, die *m. scaleni*, die *m. intercostales*, und der *m. serratus posterior superior* die Rippen heben müssen, aber die *m. levatores costarum* lassen noch eine Frage offen; dieselben decken nämlich an ihrer Anheftungsstelle die hintere Fläche der Rippe, zu welcher sie gehören und überschreiten dabei die durch das *capitulum costae* gehende Drehaxe. Man dürfte dadurch auf die Meinung kommen, dass sie dem Vertebralende der Rippe eine solche Drehung mittheilten, dass dadurch der vorderste Theil der Rippe hinabgesenkt würde. So einleuchtend eine solche Auffassung auch auf den ersten Blick erscheinen möchte, so ist sie doch bei genauerer Prüfung nicht stichhaltig. Es ist nämlich nicht zu übersehen, dass die Wirkung der *m. levatores costarum* jedenfalls eine doppelte sein muss, dass sie nämlich einestheils im Verein mit den *m. scaleni* und den *m. intercostales externi* die Rippen heben müssen und dass sie anderentheils möglicher oder wahrscheinlicher Weise auch noch eine Rotation der Rippe zu Stande bringen können. Bei den oberen Rippen ist das angegebene Anheftungsverhältniss nicht sehr stark ausgesprochen, der Hebelarm, an welchem diese Muskeln arbeiten können, ist sehr klein, und sollten sie daher auch eine rotirende Wirkung in dem angegebenen Sinne haben können, so müsste deren Bedeutung gegenüber ihrer eigenen hebenden Wirkung und derjenigen der andern betheiligten Muskeln vollständig verschwinden. Ein Anderes ist es aber

bei den unteren Rippen; bei diesen sind die *m. levatores costarum* stärker ausgebildet und auch das angegebene Anheftungsverhältniss schärfer entwickelt; hier darf also eine stärkere rotirende Wirkung neben der Hebung erwartet werden; diese wird aber hier nicht den Erfolg haben können, das vordere Ende der Rippe hinabzudrängen, sondern sie wird das beschriebene seitliche Hinaufwälzen dieser Rippen unterstützen und somit zur Erweiterung des Brustkorbes beitragen müssen.

Von dem *m. serratus magnus* können nur die unteren Zacken in Rechnung kommen, indem nur diese einen entschieden absteigenden Verlauf zeigen; möglicher Weise können dieselben neben der Hebung der Rippen, an welche sie angeheftet sind, auch noch die Erweiterung des Brustkorbes unterstützen, indem sie einen Zug nach hinten auf dieselben Rippen ausüben.

Anmerkung 1: Zu demjenigen Muskelzuge, von welchem der *m. serratus magnus* einen Theil bildet, gehört eigentlich als Ursprungsportion noch der *m. levator anguli scapulae*. Derselbe gewährt in Bezug auf seine Anordnung ein gewisses Interesse, indem er von den *processus transversi* der Halswirbel mit den *m. scalenis* entspringt, sich aber doch dem von den *processus spinosi* kommenden Zuge anschliesst. — Er ist in dem Obigen nicht mit erwähnt worden, weil er seine Fortsetzung in der an dem *angulus scapulae* angehefteten oberen Portion des *m. serratus magnus* findet, welche einen Einfluss auf Hebung der Rippen unzweifelhaft nicht besitzt.

Anmerkung 2: Zu den in dem Obigen angeführten der Rumpfwandung im engeren Sinne angehörigen Muskeln gesellen sich als Rippenheber untergeordneter Bedeutung

1) der *m. cleido-mastoideus*, welcher bei fixirtem Kopfe durch Vermittelung des Sternalendes des Schlüsselbeines das Brustbein und den vorderen Theil der ersten Rippe heben kann,
2) der *m. pectoralis minor*, welcher bei fixirtem Schulterblatte die III.—V. Rippe heben kann,
3) die Rippenportionen des *m. latissimus dorsi*, welche bei fixirtem Oberarm die unteren Rippen hinaufziehen können,
4) bei hinaufgestossenem Schultergürtel und fixirtem Oberarm muss auch der untere Theil des *m. pectoralis major* sich an dem Hinaufziehen der Rippen betheiligen können.

Die übrigen in ihrer verengernden Wirkung ungestört verbleibenden Theile der Rumpfwandungs-Muskulatur sind eigentlich in ihrer Stellung schon genug dadurch charakterisirt, dass sie als in ihrer Wirkung nicht gestörte Rumpfwandungs-Muskeln bezeichnet sind. Indem sie aber mit den Rippen in besondere Beziehungen treten, nimmt ihre Wirkung doch mehr die Gestalt einer Verengerung der Rumpfwand durch Bewegung der Rippen an und insbesondere äussern sie hierdurch auch noch einen entschiedeneren Einfluss auf den ganzen Brustkorb und zwar jeder in seiner besonderen Weise.

Der *m. rectus abdominis* zieht den unteren Theil des Brustbeines und die Knorpel der V.—VII. Rippe nach hinten hinab und bewerkstelligt dadurch ein Hinabziehen des ganzen Brustkorbes und ausserdem Verengerung durch Vermehrung der Einknickung der unteren Rippen.

Der *m. transversus abdominis*, so weit er in der Herzgrube und den Hypochondrien ausgebreitet ist, zieht die aufsteigenden Theile der Knorpel der VII.—X. Rippe gegen einander, verkleinert dadurch den Winkel der Herzgrube und vermehrt die Einknickung der unteren Rippen.

Der *m. obliquus abdominis internus* mit seiner Fortsetzung als *m. intercostales interni* zieht die Rippen und zwar zunächst die unteren gegen die Lendenwirbelsäule und das Becken hinab. Auch hierdurch wird die Einknickung der unteren Rippen vermehrt und das Brustbein indirekt nach hinten hinabgezogen. — Der *m. serratus posterior inferior* unterstützt diese Wirkung.

Der *m. obliquus abdominis externus* zieht ebenfalls die unteren Rippen hinab; indessen sind an ihm zwei Theile in Bezug auf ihre Wirkung zu unterscheiden, diejenige Abtheilung nämlich, welche sich an den Hüftbeinkamm ansetzt und die Abdominalportion (einschliesslich der *portis pectinea*). Die erstere kann nur den erweiterten Brustkorb auf den Durchmesser des oberen Randes des grossen Beckens verengern; die Wirkung der letzteren zerfällt in zwei Theile, von welchen der eine einen die Verengerung nicht unterstützenden Zug nach vornen und innen auf die unteren Rippen ausübt, der andere dagegen, abwärts gerichtet, die Rippen hinabzieht und durch Seitendruck den von dem Muskelbauche bedeckten Theil des Brustkorbrandes nach innen drängt.

Durch Herabziehen des hinteren Theiles der Rippen werden auch die Anheftungen des hinteren Längszuges Verengerer des Brustkorbes, nämlich die sogenannten aufsteigenden Zipfel des *m. ileo-costalis* und die Rippeninsertionen des *m. longissimus dorsi.*

Die vordere Portion des *m. quadratus lumborum* kann zwar nur die unterste Rippe hinabziehen, aber an ihre Wirkung kann sich in ähnlicher Weise, wie an diejenige des *m. obliquus abdominis internus* die Wirkung der *m. intercostales interni* anschliessen, so dass die Zusammenziehung jener Portion des *m. quadratus lumborum* wenigstens Ausgangspunkt und Anhaltepunkt für eine weitergehende Herabziehung der Rippenwand werden kann.

4. Der Ruhezustand des Brustkorbes.

Die Ruhelage der Brustwände ist die Gleichgewichtslage zwischen der Aeusserung verschiedener auf die Haltung der Rippen einwirkender Kräfte. Diese Kräfte sind

1) solche, welche auf die Brustwände als Höhlenwandungen überhaupt einwirken,
2) solche, welche die Rippen als solche in ihrer Stellung und Haltung bestimmen.

In ersterer Beziehung ist der Ausdehnungsgrad der Brusthöhle und somit auch die Haltung und Gestalt der Rippen abhängig von dem Gleichgewicht zwischen dem Drucke des Inhaltes und dem Gegendruck der Wandung. — Der Druck des Inhaltes wird bedingt durch den Grad der Anfüllung durch die Eingeweide oder durch Stoffe, welche mehr accidenteller Inhalt der Rumpfhöhle oder der Eingeweide sind. — Der normale Druck muss der normalen Beschaffenheit der Eingeweide entsprechen. Abnorm kann der Druck in zweierlei Weise werden, entweder nämlich kann er zu gering sein oder zu bedeutend, — im ersteren Falle muss der Gegendruck der Wandung das Uebergewicht haben und eine Verengerung des Brustkorbes erzeugen, — im zweiten Falle dagegen muss der Gegendruck der Wandung überwunden werden und eine Ausdehnung des Brustkorbes die Folge sein.

Zu geringer Druck des Inhaltes der Brusthöhle ist immer die Folge von einem solchen Zustande der Eingeweide, insbesondere der Lungen, welcher eine normale Anfüllung durch dieselben nicht zulässt; — die wichtigsten Zustände dieser Art sind die marastische Massenabnahme der Lungen und die tuberkulose Entartung derselben. Diese beiden Zustände bedingen daher auch eine Verlängerung und Verengerung des Brustkorbes (marastischer Brustkorb, phthisischer Brustkorb) als Ruhezustand oder bleibende Gestalt.

Zu starker Druck des Inhaltes ist durch zu starke Füllung bedingt und dies kann bedingt sein durch Massenvermehrung der Lunge (Pneumonie), Erfüllung der Pleurahöhle durch fremdartige Stoffe (Hydrothorax, Pyothorax, Pneumothorax), — oder durch zu starke Erfüllung der Bauchhöhle, entweder in den Eingeweiden derselben (Ueberfüllung des Magens, Schwangerschaft) oder in dem Bauchraum (starke Fettablagerung in Netz und Mesenterium, Ascites). Manche dieser Zustände sind mehr oder weniger schnell vorübergehend, andere sind bleibende; jedenfalls aber bedingen sie alle für die Zeit ihrer Dauer eine Ausdehnung des Brustkorbes und zwar eine mehr gleichmässige, wenn die Ueberfüllung im Brustkorbe selbst ist, — eine mehr den unteren Theil

betreffende dagegen, wenn die Ueberfüllung der Bauchhöhle in sekundärer Weise den Brustkorb ausdehnt.

Der Gegendruck, welchen die Brustwand leistet, ist theilweise in ihrer eigenen Beschaffenheit begründet und zwar in der Elasticität ihrer Theile; — theilweise wird er ihr von aussen mitgetheilt durch den äusseren Luftdruck oder beengende Kleidungsstücke. — Die Folgen der Vermehrung des mitgetheilten Gegendruckes durch beengende Kleidungsstücke sind oben schon erwähnt; sie bedingen eine verlängerte und verengerte Gestalt des Brustkorbes, welche zuletzt auch beharrend ist selbst in den Zeiten, in welchen die Kleidungsstücke nicht anliegen. — Der pleuritische Thorax, ebenfalls eine Form des verlängerten und verengerten Brustkorbes, entsteht durch Verwachsung der ganzen Oberfläche der Lunge mit der Brustwand in Folge eines Pleuritis; — durch diesen Umstand wird einerseits die Ausdehnungsfähigkeit der Lungen vermindert, weil das Rutschen ihrer Oberfläche an der Brustkorbwand nicht möglich ist, und andererseits wird durch die neugebildete Zellgewebelage die Elasticität der Brustwandung vermehrt, namentlich wenn in derselben sich noch sogenannte Narbenkontraktion geltend macht. Hier wirkt also der Zustand der Lungen und der Zustand der Wandung zugleich auf die Erzeugung eines chronisch verengerten Brustkorbes.

Diejenigen Verhältnisse, welche auf die Rippen selbst direkt einwirken, sind in dem Früheren schon einlässlich besprochen; es ist also hier derselben nur in so weit noch einmal zu gedenken, als sie eine besondere dauernde Gestalt des Brustkorbes, d. h. eine besondere Art seines Ruhezustandes bedingen.

Was zuerst die Muskelthätigkeit angeht, so ist bekanntlich die Hebung der Rippen viel mehr die Folge einer solchen als die Senkung derselben; — chronische Modifikation der Muskelthätigkeit muss sich daher auch vorzugsweise in dem Sinne einer chronischen Hebung äussern. Geübte Muskeln erhalten bekanntlich mehr sogenannten Tonus, welcher für sich allein schon entsprechende Haltung beweglicher Theile zu erhalten vermag. Wenn daher eine Hebung des Brustkorbes vielfach geübt ist, sei es aus Nothwendigkeit (bei Athmungsnoth) oder aus Laune für die Erzeugung einer gewissen Haltung des Körpers mit gehobener Brust, so muss der Tonus der Hebemuskeln vermehrt und damit als Ruhezustand des Brustkorbes die erweiterte, gehobene Haltung bleibend werden.

Wie die Haltung der Wirbelsäule Einfluss auf die Stellung der Rippen gewinnt, ist bei Gelegenheit der Besprechung des senilen Thorax in dem Früheren schon ausgeführt. Hier ist deswegen nur kurz als Gesetz noch zu wiederholen, dass, je aufrechter die Brustwirbelsäule,

um so mehr der Wagerechten genähert die Rippenlage gefunden wird, und dass, je gebeugter die Brustwirbelsäule, namentlich in ihrem oberen Theile, um so steiler die Rippen gestellt sind. — Daher ist der Brustkorb des Neugeborenen sehr hoch und gewölbt; — in der fortschreitenden Entwickelung nimmt er dann eine gesenktere Gestalt an und bei senilen Körpern erhält er endlich die sehr lange und enge »senile« Gestalt.

Anmerkung: In dem Obigen sind die wesentlichsten Varietäten des Brustkorbes angeführt, soweit dieselben nur durch die in den Bewegungen desselben herrschenden Gesetze bedingt sind. — Bedeutendere Gestaltveränderungen (wirkliche Missgestaltungen) kommen nur unter Veränderung in der Bildung der Rippen selbst zu Stande. Es sind namentlich die beiden Formen, welche sich mit den beiden Hauptformen des »Buckels« verbinden.

Bei dem Pott'schen Buckel werden wegen der scharfen Einknickung in der Mitte der Brustwirbelsäule die Rippen von oben und von unten gegen einander gedrängt und dadurch horizontal gelagert mit starkem Vorstosse des Brustbeines.

Bei dem skoliotischen Buckel werden in der konkaven Seite die Rippen in ähnlicher Weise zusammengedrängt und nach vornen gestossen; auf der konvexen Seite aber werden die Rippen mit ihren hinteren Theilen gewissermassen um die Reihe der Wirbelkörper herumgewickelt; — das Brustbein bleibt aber durch Wirkung der Bauchmuskeln, namentlich des *m. rectus abdominis*, mehr oder weniger in der Mittellinie des Körpers.

Weitere Ausführung dieser Verhältnisse und namentlich der Veränderung in der Gestaltentwickelung der Rippen ist hier nicht am Platze, indem dabei noch andere als die mechanischen Verhältnisse in Rücksicht kommen. Vgl. übrigens über den skoliotischen Brustkorb meinen Aufsatz über die Mechanik der Skoliose in Virchow's Archiv, Bd. XXXV. 1866. S. 225—253.

Das Becken.

Das Becken ist ein fester knöcherner Ring, welcher die Belastung der Wirbelsäule auf die Beine zu übertragen geeignet ist. Charakteristisch für dasselbe ist seine Zusammensetzung aus drei Theilen, die in morphologischer Beziehung das Becken als ein Gebilde hinstellen, welches durch Theile der Wirbelsäule und Theile des Beines zusammengefügt wird, in welchem also die unmittelbare Verbindung beider zu Stande kommt.

In mechanischer Beziehung gewinnt indessen diese Zusammensetzung eine ganz andere wichtige Bedeutung. Durch dieselbe besitzt nämlich das Becken bei der Zusammenfügung der drei Theile mittelst Symphysen eine gewisse Nachgiebigkeit, ohne darum an seiner Festigkeit etwas einzubüssen. Das Becken leistet darum der Lastübertragung keinen starren Widerstand, sondern nimmt sie schonender mit einer Art von Federung auf, — ein Umstand, der namentlich bei plötzlichen Uebertragungen von Wichtigkeit wird, z. B. bei der Berührung der Füsse mit dem Boden als Schlussakt eines Sprunges.

Der Theil des Beckens, welcher durch die Wirbelsäule gebildet wird, Kreuzbein mit Steissbein, zeigt eine besondere Organisation, welche in mechanischer Beziehung Interesse gewinnt. Für's Erste nämlich ist ein Theil der dazu gehörigen neun Wirbel, meistens fünf, zu einem einheitlichen Ganzen, dem Kreuzbeine, verbunden und bildet dadurch ein festes Mittelstück von einer gewissen Grösse, welches gleich geeignet ist, der Wirbelsäule eine feste Basis zu gewähren, wie auch deren Belastung mit Sicherheit auf die Beckenbeine zu übertragen. Aber die Vereinigung dieser fünf Wirbel findet erst mit vollendetem Wachsthume statt, deshalb können bis zu diesem Zeitpunkte äussere Umstände noch ihren Einfluss auf die gegenseitige Anordnung dieser Wirbel und somit auch die Gestaltung des Kreuzbeines geltend machen. Abgesehen von unwichtigeren individuellen Gestaltungen findet man als Folge der Ein-

wirkung dieser Umstände stets eine scharf ausgesprochene Scheidung des Kreuzbeines in zwei Theile. Der eine dieser Theile, bestehend aus den drei oberen Kreuzbeinwirbeln (*pars pelvina*) steht allein mit den Beckenbeinen in Verbindung, — ist also der in mechanischer Beziehung wichtigste Theil. Der andere Theil (*pars perinealis*), ergänzt durch das Steissbein, liegt frei und gehört zu denjenigen Bildungen, welche im menschlichen Körper das Becken nach unten abschliessen. — Während der erste Theil eine fast gerade vordere Grenzlinie hat, ist der zweite Theil mit dem Steissbeine zusammen so gebogen, dass die Krümmung den Werth ungefähr eines Viertel-Kreises hat. In der Mitte der Vorderfläche des dritten Kreuzbeinwirbels pflegen beide durch eine mehr oder weniger deutliche Knickungsrinne von einander geschieden zu sein.

Das Beckenbein ist ein bogenförmiger Knochen, welcher hinten an das Kreuzbein seitlich angefügt ist, vornen aber durch Symphyse mit demjenigen der anderen Seite verbunden ist. An der Seite, jedoch mehr gegen vornen, trägt er die Gelenkpfanne, welche den Oberschenkelkopf aufnimmt. — Auch dieses Stück des Beckens wird erst mit Vollendung des Wachsthums zu einem Ganzen und besteht bis dahin aus den drei in der Pfanne zusammenstossenden Stücken, Hüftbein, Sitzbein und Schambein. Sehr frühzeitig indessen verschmelzen schon Sitzbein und Schambein an ihren der Pfanne entfernteren Enden und das Beckenbein besteht dann nur noch aus den beiden Theilen: Hüftbein und Sitz-Schambein-Ring, welche in der Pfanne durch eine knorpelige Zwischenlage geschieden sind. Für die Gestaltung des Beckens in Folge der Einwirkung der mechanischen Gewalten wird auch dieser Punkt von Interesse.

Die erste Frage, welche in Bezug auf die Mechanik des Beckens zu beantworten ist, ist die, wie das Becken selbst die Belastung durch die Wirbelsäule aufnimmt, — und die zweite die, wie es die Belastung auf die Beine überträgt.

1. Das belastete Becken.

Die Wirbelsäule überträgt ihre Belastung zunächst auf das Kreuzbein und zwar auf den ersten Kreuzbeinwirbel. Würde die Uebertragung eine direkte sein, so müsste die Schwerlinie des Rumpfes in den Körper dieses Wirbels fallen; dieses ist aber nicht der Fall, sondern es ist der dritte Kreuzbeinwirbel, welcher von der bezeichneten Schwerlinie getroffen wird.

In der als typisch erkannten »militärischen« Haltung geht eine Senkrechte aus dem *tuberculum anterius* des Atlas durch den sechsten Halswirbel, den neunten Brustwirbel und den dritten Kreuzbeinwirbel. Da nun der Schwerpunkt des Rumpfes bei dieser Haltung in der Gegend

etwas vor dem achten oder neunten Brustwirbel liegt, so muss die Schwerlinie des Rumpfes auch ungefähr in den dritten Kreuzbeinwirbel fallen. Dieser letztere würde demnach die direkte Lasteinwirkung aufzunehmen haben.

Die Linie von dem neunten Brustwirbel in den dritten Kreuzbeinwirbel verhält sich nun aber als eine Sehne zu dem zwischen genannten beiden Wirbeln liegenden Theile der Wirbelsäule, und dieser bildet demnach die untere Wirbelsäulenkrümmung in etwas weiter gefasstem Sinne. In diesem Sinne besteht dieselbe aus drei verschiedenen Stücken, nämlich 1) den die Höhe der Lendenkrümmung einnehmenden, durch ihre Beweglichkeit in der Richtung der Mittelebene ausgezeichneten drei unteren Lendenwirbeln, — 2) dem an diese oben angereihten unbeweglicheren (steiferen) Stück der Wirbelsäule, umfassend die Reihe der Wirbel von dem neunten Brustwirbel bis zum zweiten Lendenwirbel einschliesslich (vgl. den Abschnitt über die Wirbelsäule) und — 3) dem unten angereihten unbeweglicheren im Erwachsenen absolut steifen Theile, umfassend die drei obersten Kreuzbeinwirbel. — Die Höhlung dieser ganzen Krümmung ist bekanntlich durch den *m. sacro-spinalis* ausgefüllt und die Wirkung dieses Muskels ist es auch, welche in den Aequilibrirungsbestrebungen zuerst diese Krümmung erzeugt hat. — Durch diesen Umstand wird diese letztere noch mehr als ein Einheitliches hingestellt und der Begriff der L e n d e n k r ü m m u n g ist daher dahin zu präcisiren, dass dieselbe vom neunten Brustwirbel bis zum dritten Kreuzbeinwirbel (einschliesslich) reicht.

Die Lendenkrümmung in dieser weiteren Auffassung hat demnach die Last des Rumpfes zu tragen, indem sie dieselbe in ihrem oberen Punkte (dem neunten Brustwirbel) aufnimmt, und dabei zunächst einmal in ihrem unteren Punkte (dem dritten Kreuzbeinwirbel) gestützt wird. — Die nächste Folge der Belastung in diesem Apparate muss sein, dass der belastete obere Punkt so weit heruntersinkt, bis der Spannungswiderstand im Stande ist, der Last das Gleichgewicht zu halten. Der ganze Apparat bildet dann ein festes Ganze, welches nun durch Unterstützung getragen werden muss. Die Unterstützung kann in dem unteren Endpunkt allein geschehen oder kann auch dadurch zu Stande kommen, dass der untere Theil der Krümmung, welcher zwischen dem unteren Endpunkte und der stärksten Konvexität liegt, ganz oder theilweise unterstützt wird. Ist Letzteres der Fall, dann muss sich die Last auf den ganzen unterstützten Theil vertheilen. — Damit ist dann der Vortheil erreicht, dass die einzelnen Berührungspunkte einen kleineren Theil der Last zu tragen haben.

Indem der Beckentheil des Kreuzbeines seiner ganzen Länge nach Anlehnung an die Hüftbeine findet, muss derselbe demnach auch seiner

ganzen Länge nach die Belastung aufnehmen und auf die Hüftbeine übertragen können.

Die Anlehnung ist aber nicht nur eine solche, dass das Kreuzbein durch die Hüftbeine unterstützt wird, so dass es nicht weiter hinabsinken kann; — es wird auch so festgehalten, dass es nicht nach oben hinausgerissen werden kann. Mit diesem Umstande ist im Vereine mit der Unterstützung ein neues Verhältniss von grosser Wichtigkeit gegeben. — Wenn eine (gewichtlos gedachte) aufrecht stehende Feder, im gebogenen Zustande eine Belastung tragend, sich in Ruhe befinden soll, so müssen dazu zwei Bedingungen erfüllt sein, nämlich:

1) es muss die Schwere der Last und der Elasticitätswiderstand der Feder im Gleichgewicht sein, und
2) es muss die Schwerlinie der Last in den unteren Stützpunkt der Feder fallen, den man sich der Einfachheit wegen fixirt denken mag.

Ist letzterer Bedingung nicht entsprochen, so fällt die Schwerlinie entweder nach vornen von dem Stützpunkt (auf der Seite der Konvexität) oder nach hinten von demselben (auf der Seite der Konkavität). In beiden Fällen findet die Last eine entsprechende Unterstützung nicht und sinkt tiefer hinab.

Fällt die Schwerlinie nach vornen von dem Stützpunkt, so wird zuerst der dem Stützpunkt zunächst gelegene Theil der Feder an den Boden gedrückt, und es könnte wieder Ruhe eintreten, wenn die damit gegebene Bewegung aufhören würde in dem Augenblicke, in welchem durch dieselbe der Schwerlinie ein Stützpunkt gegeben wäre; da dieses indessen nicht der Fall ist, weil eine hemmende Kraft fehlt, so wickelt sich die Feder nach und nach ab, unterstützt durch ihre Elasticität, bis die Last den Boden erreicht hat. — Ist aber ein Boden nicht vorhanden, so fällt nach den Gesetzen des labilen Gleichgewichts die Last so weit herunter, bis sie, bei drehbarem Stützpunkte, unter diesen zu stehen kommt, oder, bei nicht drehbarem Stützpunkte, durch die Federspannung getragen wird.

Fällt dagegen die Schwerlinie nach hinten von dem Stützpunkt, so sinkt die Last immer weiter nach hinten, bis sie den Boden berührt oder durch die Federspannung getragen wird oder, bei drehbarem Stützpunkt, unter diesen zu stehen kommt. Der dem Stützpunkt zunächst gelegene Theil der Feder wird dabei erst senkrecht gestellt und sinkt dann nach hinten hinab.

Ist nun aber, wie dieses bei der Lendenkrümmung (in weiterer Auffassung) mit dem Kreuzbeine der Fall ist, ein grösserer Theil der unteren Abtheilung der Federkrümmung so fixirt, dass er grössere Bewegungen nicht ausführen kann, so können dergleichen Nachtheile nicht so leicht eintreten, wenn auch die Schwerlinie nicht genau durch den Stützpunkt

fällt. Indem das Kreuzbein einen gewissen Bewegungs-Spielraum in seiner Verbindung mit den Hüftbeinen besitzt, ist ihm sein Charakter als Theil der Feder gewahrt, welche durch die Lendenkrümmung dargestellt wird; — indem es aber doch überhaupt eine Verbindung mit den genannten Knochen besitzt, welche fast bis zur vorderen Wölbung der Lendenkrümmung reicht und durch später zu besprechende Ergänzung durch den fünften Lendenwirbel sich wirklich bis zu derselben erstreckt, ist für eine ganze Reihe von Lagen des Rumpfschwerpunktes direkte Unterstützung gewährt, und für den Fall, dass die Schwerlinie einmal hinter den dritten Kreuzbeinwirbel oder vor die Lendenkrümmung fallen sollte, eine baldige Hemmung des Hinabsinkens gesichert.

Aus dieser Auffassung von der Bedeutung des Kreuzbeines erklärt sich auch die Entwickelung des Promontorium. — In dem Neugeborenen ist dieses noch kaum angedeutet; — die gerade Lendenwirbelsäule geht in einer sanften Wölbung, deren Höhepunkt die vordere Fläche der Intervertebralscheibe zwischen fünftem Lendenwirbel und erstem Kreuzbeinwirbel ist, in das Kreuzbein über. Dieses selbst hat nur eine leichte Ausbiegung und der obere Theil desselben ist sehr steil gestellt. In dieser Gestalt erkennt man die oben aufgestellte Lendenkrümmung in weiterer Auffassung sehr leicht; ihr Höhepunkt ist das künftige Promontorium. Indem sich nun durch die Aequilibrirungsbestrebungen die Lendenkrümmung stärker ausbildet, muss, wie der obere Theil weiter nach rückwärts gelegt wird, so auch der untere Theil (das Kreuzbein) mehr hinabgedrückt werden, d. h. der erste Kreuzbeinwirbel muss mehr nach vornen und unten gedrängt werden und dadurch die Reihe der drei oberen Kreuzbeinwirbel eine geneigtere Lage (c. 15° gegen den Horizont) erhalten. Durch die Verbindung der genannten Kreuzbeinwirbel mit den Hüftbeinen und eine entsprechende durch das Kreuzbein bedingte Entwickelung in diesen wird diese Lage eine bleibende. Wenn nun aber das Kreuzbein in dieser Lage festgestellt ist, so muss zwischen ihm und dem übrigen Theile der Lendenkrümmung die Einknickung besonders stark werden, und diese Einknickung zeigt sich dann als Promontorium. — Die Richtigkeit dieser Auffassung wird dadurch bestätigt, dass in manchen Fällen die beschriebene Umbildung nicht in entsprechender Weise zu Stande kommt und statt der schroffen Abknickung in dem Promontorium ein allmäliger gerundeter Uebergang der Lendenwirbelsäule in das Kreuzbein gefunden wird, ähnlich wie bei dem Neugeborenen; — und für die Bedeutung des Kreuzbeines (*pars pelvina*) als eines unteren Theiles der Lendenkrümmung sind hier namentlich die nicht seltenen Fälle interessant, in welchen der erste und zweite Kreuzbeinwirbel zusammen eine leichte Konvexität nach vornen bilden.

Die Belastung, welche das Kreuzbein erfährt, wird auf die Hüftbeine übertragen und zwar wird, da eine Verbindung mit dem Hüftbeine beiderseitig vorhanden ist, auf jedes Hüftbein die Hälfte der Belastung übertragen.

Die Art dieser Uebertragung zeigt übrigens einige interessante Eigenthümlichkeiten.

Auf den ersten Anblick erscheint das Becken als ein Gewölbe und zwar, da es in sich geschlossen ist, als ein Tonnengewölbe; indessen erscheint es, namentlich für die Auffassung der Verhältnisse vor der vollendeten Ausbildung der Beckenbeine, angemessener, dasselbe als ein einfaches Gewölbe anzusehen, welches auf den Femurköpfen ruht und dessen Fusspunkte durch die Schambeine unter einander verbunden sind, also als ein sogenanntes *bow-string*-Gewölbe. — Das Kreuzbein erscheint dabei als der Schlussstein des Gewölbes.

Während aber der Schlussstein eines architektonischen Gewölbes sich als ein Keil von oben her eindrängt, findet man, dass das Kreuzbein unten (vornen) breiter als oben (hinten) ist, es kann deshalb nicht ohne Weiteres einem Gewölbeschlussstein gewöhnlicher Art verglichen werden, und allerdings ist die Art, wie das Kreuzbein das Gewölbe schliesst, eine sehr abweichende.

An dem Beckenbeine sind, abgesehen von seiner Theilung in die drei während der Entwickelung geschiedenen Stücke, zwei Haupttheile zu unterscheiden. Der eine Theil (*pars pelvina*) umfasst den grössten Theil des Beckenbeines und zwar denjenigen, welcher das Lichte des Beckens umgreift, — der andere Theil (*pars sacralis*) ist derjenige Theil des Hüftbeines, welcher zur Seite des Kreuzbeines gerade nach oben (hinten) gerichtet ist. Der letztere dient der Verbindung mit dem Kreuzbeine, aber nur an den unteren (vorderen) Theil desselben (*superficies auricularis*) legt sich das Kreuzbein durch Symphyse unmittelbar an; — der obere (hintere) Theil (*tuberositas*) dagegen überragt die obere (hintere) Fläche des Kreuzbeines sehr beträchtlich und von der ganzen inneren Fläche dieses Theiles gehen gewaltige Bandmassen (*ligamenta vaga posteriora*) auf die Rückenfläche des Kreuzbeines und diese Bandmassen sind geeignet, das belastete Kreuzbein zu tragen, — und sie sind es auch, welche den Schluss des Beckengewölbes bewirken.

Das belastete Kreuzbein[1]) muss nämlich, da es in der *symphysis sacro-iliaca* einen gewissen Spielraum hat, etwas hinuntersinken, wenn auch kaum merklich, und dadurch einen Zug auf die *ligamenta vaga* ausüben; diesem Zuge folgend, muss die *tuberositas* des Hüftbeines nach innen gezogen werden und das Kreuzbein wird mit seiner höckerigen

1) Vgl. Lehrbuch der Anatomie. III. Aufl. S. 131.

superficies auricularis beider Seiten zwischen die entsprechend gestalteten *superficies auriculares* beider Hüftbeine eingeklemmt, und zwar um so stärker, je stärker der Belastungszug auf die *ligamenta vaga* einwirkt. — Die Festigkeit der Einklemmung und somit die Sicherheit des Beckengewölbes ist daher stets im Verhältniss der Belastung. — Jene Bewegung der Hüftbeine ist im Erwachsenen durch die Beweglichkeit der *symphysis ossium pubis* gestattet. — Durch den Versuch habe ich dieselben festzustellen gesucht. Ich habe nämlich die Femora eines reinpräparirten Beckens in zwei benachbarte Schraubstöcke eingeklemmt, dann durch die *foramina sacralia* zwischen dem ersten und zweiten Kreuzbeinwirbel einen Strick gezogen und an diesen ein Gewicht von etwa einem Centner gehängt. Der Zug dieses Gewichtes an dem Kreuzbein bedingte an der *tuberositas* beider Hüftbeine eine gegenseitige Näherung zweier vorher genau (durch Einschlagen feiner Drahtstückchen) bezeichneten Punkte um 1—2 Mm. — Geringfügig, wie diese Näherung ist, beweist sie doch hinlänglich die Richtigkeit der oben gegebenen Darstellung von der Art, wie sich das belastete Kreuzbein zu den Beckenbeinen verhält.

Sollten nicht die beiden Bänder, *ligamentum tuberoso-sacrum* und *spinoso-sacrum*, ebenfalls für den Mechanismus des Kreuzbeines wichtig werden? Wenn die Verbindung des dritten Kreuzbeinwirbels mit dem Hüftbeine wirklich der unterste Stützpunkt der Lendenkrümmung, beziehungsweise des Kreuzbeines ist, so muss ein Herabsinken des vorderen Theiles des Kreuzbeines ein Hinaufsteigen des hinteren (perinealen) Theiles zur Folge haben; — und durch Hinabziehen des letzteren würde dann ebenso sehr eine Hemmung für das Sinken des vorderen Theiles gegeben sein, wie durch die Zugspannung der *ligamenta vaga*. — Das *ligamentum tuberoso-sacrum* und nicht minder das *ligamentum spinoso-sacrum* scheinen nun aber durch ihre ganze Anordnung vorzugsweise geeignet, ein Hinaufsteigen des Perinealtheiles des Kreuzbeines zu verhindern und dadurch die besprochene Hemmung für den vorderen Theil des Kreuzbeines zu gewähren. Sollte ihnen wirklich diese Bedeutung zuerkannt werden dürfen, dann wäre damit auch die auffallende Thatsache erklärt, dass bei dem menschlichen Knochengerüste die Kreuzbeinbildung (d. h. die Verschmelzung der Wirbel) sich noch beträchtlich nach hinten von der Verbindung mit den Beckenbeinen fortsetzt.

In ähnlichen Verhältnissen, wie das Kreuzbein, befindet sich auch noch der fünfte Lendenwirbel als der vordere Theil der unteren Abtheilung der Lendenkrümmung. (Der vierte Lendenwirbel bildet ja die Höhe der Krümmung.) — Wie das Kreuzbein durch die *ligamenta vaga*, so ist der fünfte Lendenwirbel durch die *ligamenta ileo-lumbalia* an das Hüftbein angehängt und zwar gerade an dem Punkte der *crista*, wo die Einknickung zwischen dem Beckentheile des Hüftbeines und dem

Sakraltheile desselben zu sehen ist. Der fünfte Lendenwirbel als Theil der unteren Abtheilung der Lendenkrümmung muss daher mithelfen, die Belastung auf die Beckenbeine zu übertragen; und zu dieser funktionellen Verwandtschaft mit dem Kreuzbeine stimmt auch das nicht seltene Vorkommen, dass er einseitig oder zweiseitig in die Bildung des Kreuzbeines hineingezogen ist.

Um die Uebertragung der Belastung von den Hüftbeinen auf die Femora zu verstehen, erscheint es angemessen, das Becken zuerst auf ein möglichst einfaches Schema zurückzuführen.

Es wurde bei früherer Gelegenheit schon ausgeführt, das die Ruhehaltung des Rumpfes auf den Femora dadurch möglich ist, dass die Schwerlinie des Rumpfes hinter der Hüftaxe herunterfällt und dass die Senkung des hinteren Theiles des Beckens, welche in Folge dieser Lage der Schwerlinie geschehen müsste, gehemmt wird durch die Spannung des vor der Hüftaxe gelegenen *ligamentum ileo-femorale.* — Schwere und Bänderspannung, auf entgegengesetzten Seiten der Hüftaxe wirkend, halten sich demnach das Gleichgewicht; das Becken ist also eine Hebelvorrichtung, zu welcher die Hüftaxe das Hypomochlion ist, und zwar ist es eine Hebelvorrichtung der Art, wie sie in der Einleitung als »festgestellter Hebel« bezeichnet wurde; denn auf der einen Seite wirkt die variable Belastung (die Schwerlinie) und auf der anderen Seite der absolute, jeder Belastungsgrösse entsprechende Widerstand.

Die in dem Kreuzbeine wirkende Schwere zerlegt sich zwar nach beiden Hüftgelenken hin in zwei Theile, und an jedem Hüftgelenk wirkt auch ein *ligamentum ileo-femorale*; indessen kann man doch für Gewinnung der ersten Uebersicht die rechtseitig und linkseitig wirkenden Kräfte zu Mittelkräften vereinigen, welche in der Mittelebene des Körpers gelegen sind; und damit hat man die mechanischen Verhältnisse des Beckens auf das einfachste mathematische Schema zurückgeführt. Man hat dann einen festgestellten Winkelhebel, an welchem die beiden bezeichneten Kräfte (Schwere und Bänderspannung) im Gleichgewicht stehen. Da letzteres der Fall ist, muss auch die Resultirende beider Kräfte als Axendruck durch das Hypomochlion, d. h. durch die Hüftaxe gehen. — Die Uebertragung der Belastung auf die Femora und somit auf die Beine, muss demnach in Gestalt dieses Axendruckes geschehen. Da aber die körperliche Gestalt der Hüftaxe durch die beiden Femurköpfe gegeben ist, so muss die Axendruckbelastung sich auf beide vertheilen und jeder Femurkopf die Hälfte derselben aufnehmen.

Welche Richtung der Axendruck haben müsse, lässt sich nicht absolut hinstellen, doch ist es möglich eine Methode anzugeben, wie sie

für den einzelnen Fall gefunden werden kann. Eine Senkrechte aus der Hüftaxe auf die Schwerlinie wird den theoretischen Hebelarm für diese angeben, und eine Senkrechte aus der Hüftaxe auf die Richtung der *ligamenta ileo-femoralia* den theoretischen Hebelarm für deren Gegenspannung [1]. Aus der bekannten oder geschätzten Schwere des Rumpfes und der Länge dieser beiden Hebelarme findet man dann leicht die Grösse der Bandspannung und kann dann beide Grössenwerthe zur Bildung des Parallelogrammes benutzen, dessen Diagonale die Richtung des Axendruckes anzeigt. — Bequemer (vgl. Fig. 36) ist es, die Richtung der *ligamenta ileo-femorale I* nach hinten und unten zu verlängern, bis sie die Schwerlinie *S* schneidet und dann eine Linie *P* zu ziehen, welche den Durchschneidungspunkt beider Linien *D* und die Hüftaxe *A* verbindet; diese Linie bezeichnet die Richtung des Axendruckes. — Die Richtung des Axendruckes muss nothwendig eine sehr verschiedene sein, je nachdem das Becken mehr oder weniger geneigt ist, oder je nachdem durch die Haltung des Rumpfes in sich die Schwerlinie mehr nach vornen oder nach hinten gelegen ist. Sie wird senkrechter stehen, wenn das Becken steiler steht und wenn der Schwerpunkt mehr nach vornen liegt; im Allgemeinen muss sie aber nach hinten hinuntergehen, also in der Richtung, welche im Allgemeinen auch das *collum femoris* hat.

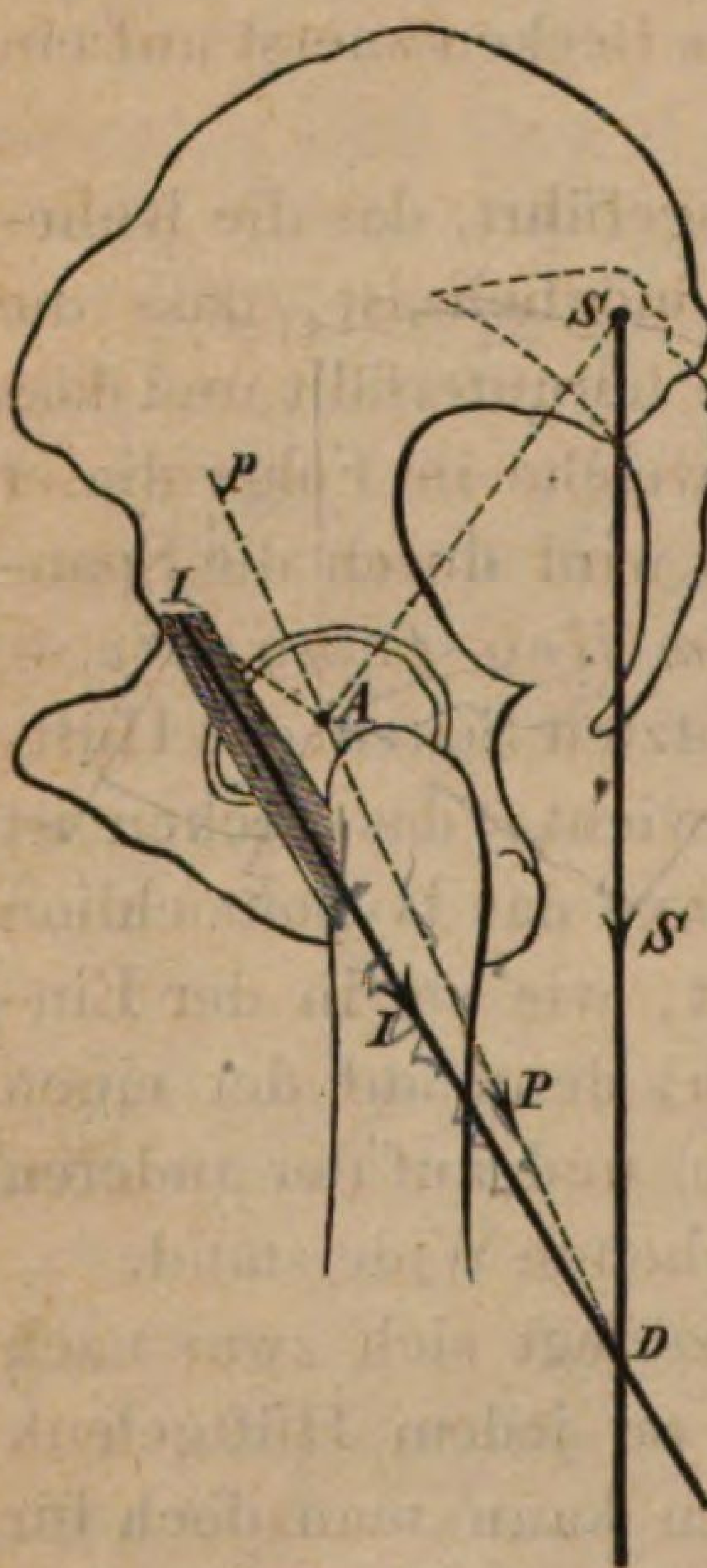


Fig. 36.

Selbstverständlich ist die ganze soeben dargestellte Konstruktion der oben gegebenen mathematischen Schematisirung entsprechend in der Mittelebene des Körpers auszuführen. — Um bei der Analyse der Belastungsverhältnisse auch die Vertheilung nach zwei Seiten in ihrer Bedeutung zu würdigen, wählt man zweckmässig folgendes Verfahren:

Man kann den gefundenen Axendruck auf die Hüftaxe in zwei Komponenten zerlegen, beziehungsweise denselben aus zwei Komponenten als Resultirende gewinnen. — Anstatt, wie in dem Obigen geschehen ist, die schiefe Richtung der Kräfte unter Voraussetzung des Gleichgewichtes zwischen denselben direkt zur Bestimmung des Axendruckes zu gewinnen, kann man auch die beiden in der Mittelebene des Körpers gegeneinander wirkenden Kräfte (die im Kreuzbein wirkende

1) Vgl. Lehrbuch der Anatomie. III. Aufl. S. 156.

Schwere und den vereinigten Gegenzug beider *ligamenta ileo-femoralia*) vorher zerlegen. — Man gewinnt dadurch statt einer jeden der beiden schief auf den mathematischen Hebelarm einwirkenden Kräfte deren zwei, nämlich eine zum Hebelarm senkrecht stehende und eine in der Richtung des Hebelarms wirkende.

Die beiden zum Hebelarm senkrecht stehenden Kräfte vereinigen sich zu einem Axendruck. — Würde der Hebel ein geradliniger sein, so würden die in der Richtung der Hebelarme wirkenden Kräfte für den Axendruck verloren gehen. Da indessen der in die Mittelebene des Beckens eingezeichnete mathematische Hebel ein Winkelhebel ist, so müssen sich auch die beiden in der Richtung der Hebelarme wirkenden Kräfte ihrerseits zu einem Axendrucke vereinigen. Der oben bestimmte Axendruck ist die Resultirende aus den beiden durch die soeben gegebene Analyse gewonnenen Axendrücken.

Der Axendruck der senkrecht zum Hebelarm wirkenden Kräfte kann aus der Mittelebene ohne Weiteres durch Theilung auf die beiden Femurköpfe übertragen werden. — Dagegen kann dieses nicht geschehen mit dem in der Richtung der Hebelarme wirkenden Axendrucke, von welchen der aus dem Kreuzbeine kommende besonderes Interesse gewinnt, weil er, aus einem Punkte in dem Kreuzbeine wirkend, sich seitwärts auf die beiden Femurköpfe zu vertheilen hat; er trifft daher, durch den Bau des Beckens bereits zerlegt, jeden Femurkopf in schiefer Richtung, und zerlegt sich in jedem Femurkopf in eine der Mittelebene des Körpers parallele und eine horizontal nach aussen gehende Komponente. Die erstere vereint sich mit dem in der Richtung des Hebelarmes wirkenden Zuge des *lig. ileo-femorale* zu einer Resultirenden, welche ihrerseits wieder sich mit dem Antheil des Axendruckes der zum Hebelarm senkrecht wirkenden Kräfte zu dem den Femurkopf wirklich belastenden Axendrucke verbindet. Die zweite stellt einen Horizontalschub in den Fusspunkten des Beckengewölbes auf den Femurköpfen dar.

Anmerkung. — Nachstehende Figuren sind im Stande, das oben Ausgeführte zu erläutern.

In Fig. 37 bezeichnen S die Schwerlinie und I die Widerstandsspannung des *lig. ileo-femorale*, die rechtwinkelig zu den Hebelarmen wirkenden Komponenten dieser Kräfte sind mit S' und I' bezeichnet. Beide vereinigen sich zu dem Axendruck P' — Die in der Richtung der Hebelarme, gegen den Mittelpunkt des Femurkopfes A wirkenden Komponenten vereinigen sich zu dem Axendruck P''. — Das Parallelogramm, welches diesen Axendruck P'' konstruiren liess, wurde auf folgende Art gefunden: Wären die beiden Winkel φ einander gleich, so würden die in der Richtung der Hebelarme wirkenden Komponenten im direkten Verhältnisse zu einander stehen wie

I' zu S', also wie 3 : 1, — da aber φ bei I' grösser ist, so ist das Verhältniss 4 : 1 angenommen und in diesem Sinne das Parallelogramm konstruirt. — Die beiden Axendrücke P' und P'' vereinigen sich zu dem Axendruck P.

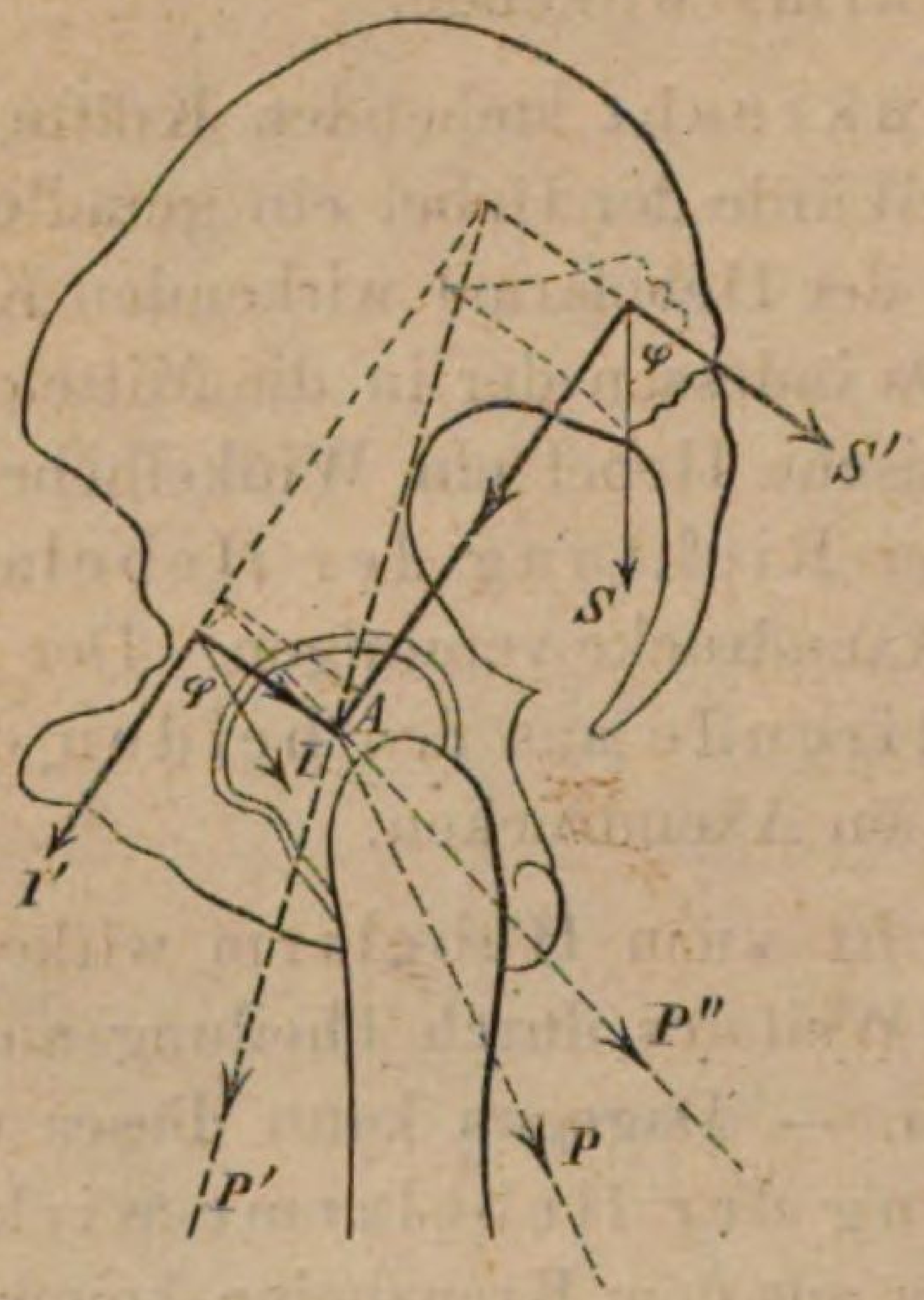


Fig. 37.

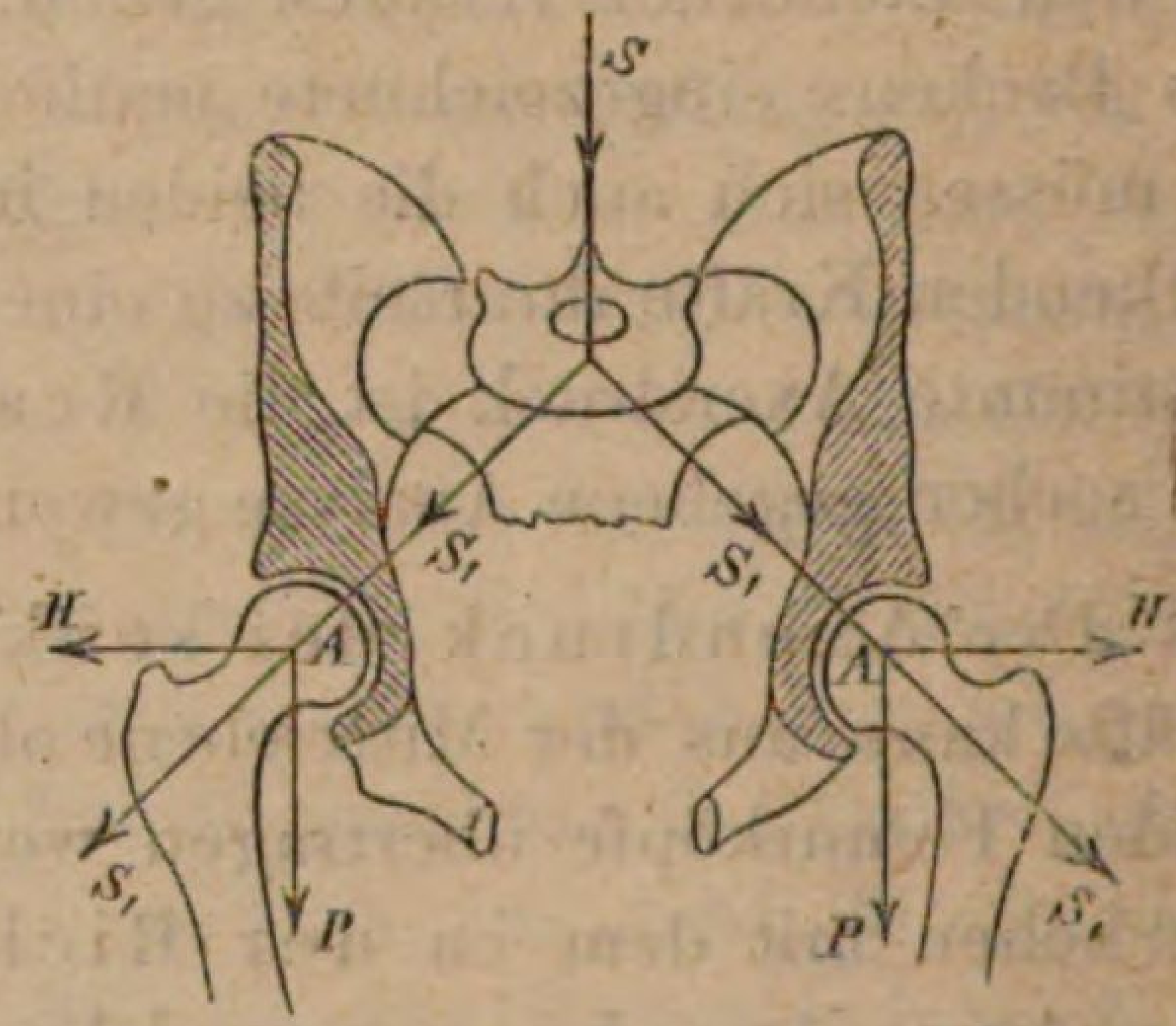


Fig. 38.

In Fig. 38 ist die seitliche Zerlegung von S in die beiden schiefen Kräfte $S_{,}$ und $S_{,}$ dargestellt, welche sich in dem Femurkopfe wieder zerlegen in den Horizontalschub H und die Kraft P, welche in der durch die Kräfte $S_{,}$ und $S_{,}$ bestimmten Ebene liegt und den auf S zu beziehenden Antheil des in Fig. 37 gezeichneten Axendrucks P'' darstellt.

Ueber die Gültigkeit der Zeichnung Fig. 37 für den einzelnen Femurkopf ist oben der Text zu vergleichen.

Im Interesse leichterer Uebersichtlichkeit habe ich in den Zeichnungen 36, 37, 38 den allgemeinen Schwerpunkt des Körpers statt des höher gelegenen Schwerpunktes des Rumpfes benutzt. Für die Darlegung der statischen Verhältnisse ist dieses von wenig Bedeutung. — Bei Benutzung des Schwerpunktes des Rumpfes würde übrigens der Axendruck P eine senkrechtere Richtung bekommen haben.

Der so eben gefundene Horizontalschub wird in dem Erwachsenen vernichtet durch die Verbindung der Schambeine und das Anziehen des ganzen Beckenbeines nach innen, welches durch die *ligamenta vaga posteriora* ausgeführt wird. Vor vollendeter Ausbildung der Beckenbeine gewinnt er indessen eine Bedeutung, weil wegen der Trennung des Beckenbeines in der Hüftpfanne dem Hüftbeine die Möglichkeit gegeben wäre, diesem Horizontalschube zu folgen, wenn nicht die unteren Theile des Beckenbeines, namentlich die Schambeine, demselben als Streckband eine Hemmung entgegenstellen würden.

Das rachitische und das osteomalacische Becken.

Die gegebene Darstellung von dem Mechanismus des belasteten Beckens ist im Stande, in genügender Weise die Missgestaltung zu erklären, welche rachitische und osteomalacische Becken zeigen; dagegen muss denn auch wiederum die Möglichkeit einer solchen Erklärung zugleich eine Bestätigung der Richtigkeit oben gegebener Auffassung gewähren.

Zur Verständigung ist jedoch sogleich zu bemerken, dass jene ätiologischen Namen für die betreffenden Gestaltungen insofern ungeeignet sind, als sie sehr leicht den Begriff erwecken können, als ob ein näherer Zusammenhang zwischen dem Charakter der Krankheit als solcher und der entsprechenden Beckenmissgestaltung bestehe, während doch die Veränderung in der Beckengestalt nur die Folge ist von der durch die Krankheit bedingten Beschaffenheit des Knochensystems. — Allerdings ist diese Beschaffenheit bei der Osteomalacie stets dieselbe, nämlich eine »Weichheit«, d. h. Widerstandslosigkeit aller knöchernen Gebilde, namentlich der spongiosen. — Bei der Rachitis ist die Beschaffenheit der Knochen indessen keinesweges immer die gleiche. In den gewöhnlichen Graden dieser Krankheit pflegen nämlich die bereits gebildeten Knochenstücke eine gewisse Widerstandsfähigkeit zu behalten, unter Verhältnissen können sie sogar noch widerstandsfähiger sein, als im normalen Zustande, — in gewissen höheren Formen der Rachitis kann aber auch die Widerstandsfähigkeit dieser Theile in ähnlicher Weise gemindert sein, wie in der Osteomalacie. In dem letzteren Falle sind die rachitischen Knochen in Bezug auf den Einfluss, den sie durch die Belastung erfahren müssen, den osteomalacischen Knochen gleich zu stellen und es entsteht an rachitischen Becken dieser Art deshalb auch diejenige Gestalt, welche als »osteomalacische« bezeichnet zu werden pflegt. Wenn deshalb von »rachitischen« Beckengestalten im Gegensatze zu den »osteomalacischen« Gestalten die Rede ist, so können darunter nur solche Gestalten verstanden werden, welche aus rachitischen Erkrankungen der ersteren gewöhnlicheren Art hervorgehen.

Die für die vorliegende Untersuchung wichtigste Eigenschaft rachitischer Knochen dieser Art ist die, dass der für den Behuf der Verknöcherung gewachsene Knorpel nicht verknöchert, nichtsdestoweniger aber eine Markraumbildung erfährt, wie sie der neugebildeten Knochenmasse zukommt. Während dann die vorher schon gebildeten Knochenstücke wenig veränderte Beschaffenheit zeigen oder vielleicht gar durch Auflagerungen verstärkt sind, besitzen die während des Wachsthums noch vorhandenen Knorpelschichten zwischen Diaphysen und Epiphysen,

aus welchen sich neue Knochenmasse anzubilden hat, eine ausserordentliche Weichheit und Widerstandslosigkeit, und aus diesem Grunde sind Verschiebungen zwischen den durch sie verbundenen Theilen sehr leicht möglich (vgl. III. 2, III. 4, III. 8, sowie den Abschnitt »die Materialien des Knochengerüstes«).

Für Erklärung der rachitischen Beckengestalt gewinnen Interesse die widerstandslosen Knorpelmassen beschriebener Art an den Symphysenflächen der Wirbelkörper, an denjenigen der *symphysis sacro-iliaca* und der *symphysis ossium pubis*, sowie an der Verbindungsstelle der drei Theile des Beckenbeines in der Hüftpfanne. — Wegen der angegebenen Beschaffenheit sind die an diesen Stellen befindlichen Knorpelmassen nicht im Stande, den Belastungsdruck entsprechend aufzunehmen, sie geben daher demselben nach und sind dadurch Veranlassung, dass die sogenannte rachitische Beckengestalt entsteht. — Die Kreuzbeinwirbel senken sich wegen leichterer Verschiebbarkeit gegen einander mehr nach vornen hinunter und das Promontorium wird dadurch weiter nach vornen und unten gerückt; — der tiefere Stand des Beckentheiles des Kreuzbeines zieht dann auch die *pars sacralis* des Hüftbeines mehr hinunter, so dass dieselbe, statt neben dem Kreuzbeine zu liegen, dieses von oben (hinten) her theilweise deckt; — durch diesen Zug werden zugleich die Hüftbeine flacher nach aussen gelegt; — der Horizontalschub des Hüftbeines findet geringeren Widerstand und die *linea arcuata interna* des Hüftbeines hat deshalb mehr die Richtung nach aussen und die Pfanne mehr die Richtung nach vornen; — endlich werden durch diesen Horizontalschub die Schambeine mehr in die Quere gezogen, so dass der Winkel, welchen dieselben sonst im Inneren des Beckens zeigen, beinahe ganz verwischt ist. — Mit diesen Abweichungen ist zugleich die Charakteristik des rachitischen Beckens gegeben.

Nicht ohne Interesse ist es, dass das weibliche Becken eine Annäherung an das rachitische zeigt, weil ohne Zweifel die Knorpelmassen an den Verbindungsstellen nicht die Widerstandsfähigkeit derjenigen an männlichen Knochen zeigen. — Da man das Verhältniss geringerer Widerstandsfähigkeit gegenüber gewöhnlicher Belastung auch nachahmen kann durch stärkere Belastung bei unverminderter Widerstandsfähigkeit, so hat man damit das Mittel an der Hand, auf dem Versuchswege das eben ausgesprochene Gesetz über die Entwickelung der weiblichen Beckenform darzulegen. An dem Becken eines 1—2jährigen Kindes kann man nämlich sogleich die weibliche Beckengestalt erzeugen, wenn man die Femora mit der einen Hand fixirt und dann die Lendenwirbelsäule stark hinunterdrückt.

Was nun das osteomalacische Becken angeht, so wirkt auf dessen Gestaltung nicht die Belastung allein ein, aber die Folgen von der

Einwirkung derselben sind doch sehr deutlich erkennbar. Der obere Theil des Kreuzbeines und der fünfte Lendenwirbel werden nämlich gerade nach unten gedrängt, und indem der untere Theil des Kreuzbeines durch die Unterlage beim Sitzen hinaufgedrängt wird, wird das Kreuzbein in dem dritten Wirbel in einen spitzen Winkel geknickt; — der Zug des hinabgedrängten Kreuzbeines rollt den Rand des Hüftbeines nach vornen um (vielleicht trägt dazu auch der Zug des *m. iliacus* etwas bei); — und der Zug der um das Hüftgelenk angeordneten Muskeln drängt den Pfannentheil des Beckenbeines so nach innen, dass die beiden Schambeine parallel neben einander zu liegen kommen.

Ueber das rachitische und osteomalacische Becken vgl. auch II. 2.

2. Die Einwirkung des belasteten Beckens auf das Bein.

Das belastete Becken überträgt nicht nur die empfangene Belastung auf die beiden Beine, sondern es wirkt auch direkt auf diese so ein, dass das Stehen auf denselben mit möglichst weniger unterstützender Muskelthätigkeit zu Stande kommen kann, wenn solche überhaupt dafür nothwendig ist.

Das Becken sinkt in seiner Belastung in seinem hinteren Theile hinunter, bis die Hüftgelenkkapsel, spiralig verdreht, eine Hemmung bietet. Die Verkürzung, welche durch diese Verdrehung in der Kapsel gegeben ist, muss auch zu gleicher Zeit den Oberschenkelkopf fest in die Pfanne hineindrücken und denselben dadurch unbeweglich feststellen. Der Widerstand, welchen der in die Pfanne eingedrückte Femurkopf einem weiteren Hineindrücken entgegenstellt, ist eigentlich die Ursache für die Hemmung des weiteren Sinkens des Beckens, weil eine weitere Verdrehung der Kapsel dann nicht mehr möglich ist. So drückt also zunächst die Belastung des Beckens den Femurkopf fest in die Pfanne und dieser Umstand wird seinerseits wieder Ursache für eine ruhig befestigte Stellung des Beckens auf den Beinen.

Der stärkste und durch die Belastung des Beckens am Meisten in Anspruch genommene Theil der Hüftkapsel ist derjenige Faserzug derselben, welcher als *ligamentum ileo-femorale* besonders benannt wird. Derselbe geht von der Gegend der *spina anterior inferior* des Hüftbeines schräg nach aussen hinab zu der *linea intertrochanterica anterior*. Durch die Belastung des Beckens angezogen, muss dieser Bandstreifen einen Zug in der Richtung dieses Verlaufes ausüben. Die schiefe Richtung des Zuges muss aber zerfallen in eine senkrecht nach oben gehende und eine in horizontaler Richtung quer gehende. Erstere kann nur helfen den Oberschenkelkopf nach oben zu in die Pfanne anzu-

drücken, letztere aber gewinnt durch weit gehenden Einfluss auf das Bein eine grosse Bedeutung.

Da das Band vor dem Schenkelkopfe gelegen ist, so muss jener horizontale Theil seines Zuges rotatorisch auf den Trochanter einwirken und denselben nach vornen und innen zu ziehen suchen. Eine Bewegung kann nun zwar dieser Zug dem Trochanter und somit dem ganzen Femur im Stehen nicht mittheilen, aber er muss denselben doch unter einen solchen rotatorischen Druck stellen, dass eine entgegengesetzte rotatorische Bewegung nicht zu Stande kommen kann, ohne den Zug der in dem Kreuzbeine wirkenden Schwere des Rumpfes zu überwinden. Dieser Umstand wird wichtig für die Haltung des Kniegelenkes im Stehen. — Die Schlussrotation, welche am Ende der Kniestreckung eintritt, ist in dem Unterschenkel eine Drehung nach aussen, in dem Oberschenkel dagegen eine solche nach innen. Wenn nun durch das *ligamentum ileo-femorale* dem Oberschenkel eine Rotation nach innen mitgetheilt wird, so muss derselbe dadurch bei gestrecktem Knie in die Schlussrotation gedrängt und in derselben gehalten werden. Da aber ohne Auslösung dieser Schlussrotation eine Beugung im Knie nicht stattfinden kann, so stellt der Zug des *ligamentum ileo-femorale* das Kniegelenk in einer gegen Beugung gesicherten Lage fest, so dass die Streckung des Kniees im Stehen ohne Mitwirkung der Streckmuskeln erhalten bleibt. Dass diese letzteren dabei wirklich unthätig sind, beweist der Umstand, dass sie im Stehen noch einer Kontraktion fähig sind, durch welche die Patella beträchtlich nach oben gezogen wird; die Muskeln und das *ligamentum patellae* sind also im Stehen nicht verkürzt oder gespannt.

In weiterer Wirkung wird dieser rotatorische Druck durch das Femur auf die Tibia übertragen und dadurch der hintere Rand des inneren Knöchels dem hinteren Rande des äusseren Knöchels mehr genähert. Der hintere schmalere Theil der Astragalusrolle wird dadurch so eingeklemmt, dass ein Vorwärtsfallen des Unterschenkels in dessen Gelenk gegen den Astragalus zum Mindesten sehr erschwert wird.

Endlich wird noch, indem der rotatorische Druck von dem Unterschenkel auch noch auf den eingeklemmten Astragalus übertragen wird, der Kopf des letzteren kräftig gegen den inneren Fussrand gedrängt, wodurch das Fussgewölbe fest gespannt erhalten wird.

Wie also die Belastung des Kreuzbeines für sich schon das Becken für den Widerstand einrichtet, — so wirkt die Belastung des Beckens auch einrichtend auf Hüftgelenk, Kniegelenk und Fussgelenk, sowie auf das Fussgewölbe ein, so dass diese dadurch geeigneter sind, die Belastung zu tragen.

3. Die Beckenneigung.

Für die ganze Haltung des aufrecht stehenden Körpers ist die Neigung des Beckens ein Punkt von grösstem Interesse, indem dieselbe im engsten bedingten und bedingenden Zusammenhange steht mit der Haltung der Wirbelsäule und der Haltung der Beine.

Zur Bestimmung der Beckenneigung pflegt man den Winkel zu benutzen, welchen die verlängerte Konjugata mit dem horizontalen Boden bildet. Dasjenige, was in dem Vorhergehenden über die Unregelmässigkeit und Unsicherheit in Bezug auf Lage und Gestalt des Promontoriums gesagt ist, rechtfertigt es hinlänglich, wenn man diese Bestimmungsweise als ungenügend bezeichnet, sobald es sich um genauere Bestimmungen nach Graden handelt. Aus diesem Grunde habe ich auch bereits in I. 3. Anhang (Müller's Archiv 1853. S. 538—547) die Aufstellung einer zur Bestimmung geeigneteren Linie (der Normal-Konjugata) motivirt, welche von dem Einknickungspunkte des Kreuzbeines (der Mitte des dritten Kreuzbeinwirbels) ausgeht und ebenfalls an dem obersten Punkte der *symphysis ossium pubis* endigt. Die durchschnittliche Neigungsverschiedenheit dieser Linie gegenüber der Konjugata beträgt ungefähr 30°, so dass, wenn man die Neigung der Konjugata zu 60° aufstellt, diejenige der Normal-Konjugata 30° beträgt.

Für die Neigungsbestimmungen im Allgemeinen genügen indessen die Bezeichnungen: gesenkte und steile Stellung des Beckens. In der gesenkten Stellung bildet die Konjugata (bez. Normal-Konjugata) einen kleineren Winkel gegen den Boden und in der steilen einen grösseren.

Die Neigung des Beckens ist nicht eine konstante, sondern eine nach verschiedenen Umständen stets wechselnde. Die Bemühungen, eine absolute Beckenneigung aufzustellen und dieselbe nach ihrem Gradwerth zu bezeichnen, können daher einen entsprechenden Erfolg nicht haben; denn nur für eine bestimmte, genau formulirte Stellung lässt sich eine annähernd richtige, allgemeiner gültige Bestimmung dieser Art gewinnen, weil die Beckenneigung bei demselben Individuum in jedem Augenblicke eine andere ist. Mit dieser Bemerkung sind indessen nicht diejenigen Veränderungen der Beckenneigung gemeint, welche sich durch Sitzen, Liegen oder beliebige sonstige Haltungen des ganzen Körpers von selbst ergeben, sondern nur diejenigen, welche durch die Wirkung der statischen Gesetze in dem aufrechten Stehen erzeugt werden, und zwar durch die Modifikationen, welche bei diesem ohne Aenderung des Grundgesetzes des Stehens beobachtet werden.

Innerhalb der angegebenen Grenzen muss aber eine Veränderung der Beckenneigung auf zweierlei Art herbeigeführt werden können.

Die erste Art ist so einfach und leicht verständlich, dass es genügt, derselben nur kurz zu erwähnen. Es sei ein aufrecht stehender Körper in sich unveränderlich festgestellt, so wird allerdings die gesichertste Stellung diejenige sein, bei welcher die Schwerlinie in den Mittelpunkt des Fuss-Viereckes fällt; indessen wird die Stellung ebenfalls hinlänglich gesichert sein, wenn auch die Schwerlinie weiter nach vornen oder weiter nach hinten herunterfällt. Die beiden Grenzlinien, welche dieser Schwankung gesteckt sind, sind die Verbindungslinie zwischen den Metatarsusköpfchen der beiden grossen Zehen und diejenige zwischen den beiden Fersenhöckern. Um den Schwerpunkt von seiner Lage über der einen dieser Linien in eine Lage über der anderen derselben zu führen, bedarf es bei unveränderter Haltung des ganzen Körpers in sich nur einer Bewegung um die Ginglymusaxe beider Fussgelenke. Die Grösse dieser Bewegung, wenn sie den angegebenen Erfolg haben soll, beträgt ungefähr 15°; bei kürzeren Beinen natürlich mehr und bei längeren weniger. Um c. 15° kann also innerhalb der Grenzen der Gesetze für das aufrechte Stehen die Neigung der Beinaxe bei demselben Individuum variiren, und da das Becken gegen das Femur festgestellt ist, so muss auch die Neigung desselben um ebensoviel variiren können. Die Neigung des Beckens ist also eine steilere, wenn die Schwerlinie mehr nach vornen fällt, und eine gesenktere, wenn die Schwerlinie mehr nach hinten fällt, wobei vorausgesetzt ist, dass die Haltung des Körpers in sich dabei nicht geändert wird.

Viel wichtiger und bedeutender ist die zweite Art, wie Veränderungen der Beckenneigung zu Stande kommen können, nämlich durch veränderte Haltungen des Körpers in sich, wobei willkürlich durch Muskelthätigkeit erzeugte und unterhaltene Stellungen des Beckens nicht berücksichtigt sind.

In Früherem ist gezeigt worden, dass in dem aufrechten Stehen das Becken auf den Oberschenkelbeinen dadurch festgestellt wird, dass die Schwere, welche hinter der Hüftaxe wirkt, in der vor der Hüftaxe wirkenden Spannung des *ligamentum ileo-femorale* einen absoluten Widerstand findet, und dass das Becken, der Schwere folgend, so lange, um die Hüftaxe sich drehend, nach hinten hinunterfällt, bis die Spannung des genannten Bandes eingetreten ist. — Es sei nun in einer beliebigen Haltung des Rumpfes in sich und in einer beliebigen Stellung der Beine das Becken in angegebener Weise auf den Oberschenkeln festgestellt, so wird es möglich sein, die Stellung des Beckens gegen die Oberschenkelbeine zu ändern, wenn man die Spannung des *ligamentum ileo-femorale*

ändert. Wird das Band erschlafft, so muss das Becken mehr sinken, — wird es dagegen angespannt, so muss das Becken in eine steilere Stellung gehoben werden. — Beides kann durch Bewegung der Femora in den Hüftgelenken zu Stande kommen.

Die grösste Erschlaffung besitzt das *ligamentum ileo-femorale* in männlichen Becken bei 20° Divergenz und 0° Rotation der Beinaxen, — und in weiblichen Becken bei 25° Divergenz und 10° Einwärtsrotation der Beinaxen. Bei diesen Haltungen der Beine kann daher das Becken am Weitesten nach hinten hinabsinken und die Konjugataneigung ist daher alsdann die geringste; sie beträgt nämlich 40—45° (oder 10—15° Neigung der Normal-Konjugata) gegen den Horizont.

Anmerkung: Die »Divergenz« der Beinaxen ist der Neigungswinkel, welchen beide Beinaxen gegen einander haben; — für die »Rotation« ist der Nullpunkt in derjenigen Stellung der Femora, in welcher die hintere Wölbung der vier Kondylen in dieselbe Ebene fällt.

Eine jede Veränderung dieser Stellung, sei es durch Rotation nach innen oder nach aussen oder auch durch Abduktion oder Adduktion muss eine Anspannung auf das *ligamentum ileo-femorale* ausüben und dadurch eine steilere Stellung des Beckens hervorbringen. Am Bedeutendsten wird dieses dann hervortreten, wenn Rotation und Abduktion (beziehungsweise Adduktion) sich mit einander verbinden, und unter dieser Bedingung kommen dann die steilsten Beckenstellungen zu Stande, welche bis zu 90° und 100° Konjugataneigung (oder 60°—70° Neigung der Normal-Konjugata) ansteigen können.

Meiner grösseren Arbeit über diesen Gegenstand [1]) entnehme ich folgende Einzelnheiten, welche geeignet sind, diese Sätze zu erläutern und weiter auszuführen.

Zuerst gibt die folgende Tabelle eine Uebersicht über den Einfluss der Abduktion der Beine auf die Beckenneigung. In derselben sind für 0° Rotation die Neigungen der Konjugata in verschiedenen Abduktionsgraden zusammengestellt. In der ersten Reihe stehen die Mittel von 9 männlichen, und in der zweiten die Mittel von 7 weiblichen Becken, an welchen die Versuche vorgenommen worden sind; in der dritten Reihe die Mittel zwischen männlichen und weiblichen Becken.

1) REICHERT's und DUBOIS' Archiv 1861. S. 137—178.

Abduktion.	Männlich.	Weiblich.	Mittel.
— 10	52,1°	58,2°	55,2°
0	47,1	54,9	51,0
+ 10	43,8	50,3	47,1
+ 20	42,6	48,3	45,5
+ 30	44,3	47,9	46,1
+ 40	45,3	49,0	47,2
+ 50	51,1	51,4	51,3
+ 60	56,4	56,9	56,7
+ 70	65,4	60,9	63,1

Bemerkenswerth ist bei diesen Zahlen, dass das Minimum bei den männlichen Becken in + 20° Abduktion fällt, bei den weiblichen dagegen erst in + 30° Abduktion, — und ferner, dass, die höheren Abduktionsgrade ausgenommen, die Stellung der weiblichen Becken beträchtlich steiler ist, als die der männlichen.

In gleicher Weise zeigt die folgende Tabelle den Einfluss der Rotation auf die Konjugata-Neigung. In derselben sind in ähnlicher Art wie oben die Werthe der Konjugataneigung für verschiedene Rotationsgrade bei 0° Abduktion (Parallelismus) der Beinaxen zusammengestellt. Unter »Minus-Rotation« ist die Rotation nach innen und unter »Plusrotation« diejenige nach aussen zu verstehen.

Rotation.	Männlich.	Weiblich.	Mittel.
— 35	—	63,2°	—
— 30	—	60,7	—
— 25	63,1°	57,4	60,3°
— 20	57,9	55,6	57,8
— 15	53,2	54,7	54,0
— 10	50,2	54,3	52,3
— 5	48,4	54,2	51,3
0	47,1	54,9	51,0
+ 5	47,5	55,8	51,7
+ 10	47,9	57,7	52,8
+ 15	49,1	60,6	54,9
+ 20	51,3	66,7	59,0
+ 25	55,5	72,3	63,9
+ 30	59,8	79,1	69,5
+ 35	64,2	88,1	76,2

Bei diesen Zahlen zeigt ebenfalls die Konjugataneigung der weiblichen Becken, die stärkeren Rotationsgrade nach innen ausgenommen, höhere Werthe als diejenige der männlichen Becken. — Für das männliche Becken fällt das Minimum in 0° Rotation und für das weibliche in — 5° Rotation. — Zugleich lehrten die Versuche, wie die Tabelle gleichfalls zeigt, dass die Rotationsmöglichkeit nach innen bei dem weiblichen Hüftgelenke grösser zu sein scheint als bei dem männlichen.

Die folgende Tabelle gibt an dem individuellen Beispiele eines männlichen Beckens eine Uebersicht aller für dieses möglichen Neigungen der Konjugata bei den verschiedenen Beinstellungen.

Abduktion.	Rotation.														
	−25°	−20°	−15°	−10°	−5°	0°	+5°	+10°	+15°	+20°	+25°	+30°	+35°	+40°	+45°
− 10°	**70°**	62°	58°	56°	55,5°	**55°**	55,5°	56°	59°	64°	72	**92°**			
0	68	61	55	52	50,5	**50**	51	52	54,5	57	62	70			
+ 10	**67**	**59**	**53**	**50,5**	**49**	**48,5**	**49**	**49**	**50**	52	55	61	69°		
+ 20		64	58	53	50	**49**	**49**	**49**	**50**	**51**	**53**	**57**	62		
+ 30		80	66	59	58	52	**51**	**51**	51,5	52	54	**57**	**61**	**66°**	
+ 40		90	77	66	60	55	**53**	**53**	**53**	54	55	58	**61**	67	**70°**
+ 50		94	81	72	64	59	57	**56**	**56**	57	59	60	63	69	72
+ 60		94	86	77	68	64	62	**61**	**61**	62	64	65	68	71	74
+ 70		**109**	101	90	83	78	76	**74**	**74**	75	76	77	79	81	**83**

In dieser Tabelle befindet sich das Minimum mit 48,5° unter 0° Rotation und 10° Abduktion. An dieser Stelle kreuzen sich zugleich die Reihen der Minima der senkrechten und derjenigen der wagerechten Spalten (durch fettere Schrift hervorgehoben) und man erkennt, wenn man dieselben verfolgt, dass die Minima bei den höheren Abduktionsgraden erst in höheren Rotationsgraden eintreten, und ebenso bei den höheren Rotationsgraden erst in den höheren Abduktionsgraden. Von den vier durch Vereinigung höchster Abduktionsgrade mit höchsten Rotationsgraden hervorgebrachten Maxima 70°, 109°, 92° und 83° (durch grössere fette Schrift hervorgehoben) sind deshalb auch die beiden: links oben und rechts unten die niedrigsten, weil sie den Minimalreihen näher stehen. — Zugleich zeigt diese Tabelle, dass in den geringeren Abduktionsgraden mehr Rotation nach innen, in den höheren dagegen mehr Rotation nach aussen möglich ist.

Die folgende Tabelle stellt nun die Reihe der Minima zusammen, welche in den verschiedenen Abduktionsgraden beobachtet worden sind, ohne Rücksicht darauf, unter welchem Rotationsgrade sie liegen.

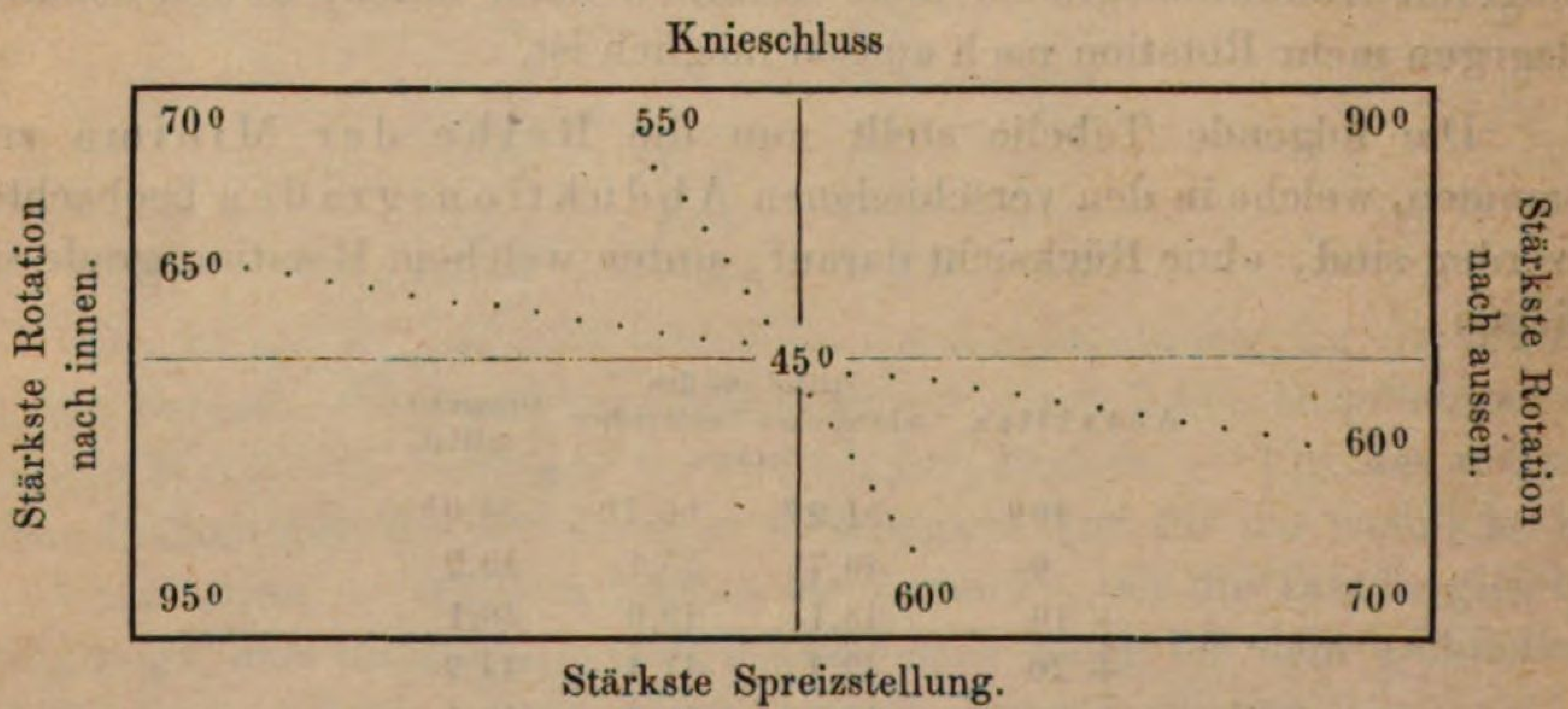
Abduktion.	Mittel aus den männlichen Becken.	Mittel aus den weiblichen Becken.	Gesammtmittel.
— 10°	51,2°	56,7°	54,0°
0	46,7	53,1	49,9
+ 10	43,1	49,0	46,1
+ 20	42,4	47,4	44,9
+ 30	43,3	46,8	45,1
+ 40	45,5	48,7	47,1
+ 50	48,5	50,8	49,6
+ 60	52,6	53,9	53,3
+ 70	59,6	57,7	58,7

In gleicher Weise stellt auch die folgende Tabelle die Reihe der Minima zusammen, welche in den verschiedenen Rotationsgraden beobachtet worden sind, ohne Rücksicht darauf, unter welchem Abduktionsgrade sie liegen.

Rotation.	Mittel aus den männlichen Becken.	Mittel aus den weiblichen Becken.	Gesammtmittel.
— 35°		55,4°	
— 30		51,6	
— 25	57,1°	49,4	53,3°
— 20	51,1	47,4	49,3
— 15	46,6	45,7	46,1
— 10	43,4	45,6	44,5
— 5	42,1	45,7	43,9
0	41,8	46,5	44,2
+ 5	41,9	47,4	44,6
+ 10	42,5	48,4	45,5
+ 15	43,3	49,9	46,6
+ 20	44,3	52,1	48,2
+ 25	46,0	54,1	50,1
+ 30	47,8	65,4	56,6
+ 35	50,4	69,2	59,8

Beide Tabellen zeigen wieder die interessante Thatsache, dass die weibliche Beckenstellung im Allgemeinen steiler ist, als die männliche, die stärkeren Rotationsgrade nach innen ausgenommen.

Schliesslich sei nun noch eine Uebersicht über die möglichen Stellungen aus den gerundeten Mitteln von allen (männlichen und weiblichen) Becken gegeben, wobei nur das absolute Minimum, die Maxima, und die zwischen den Maxima gelegenen Endwerthe der Minimalreihen hingestellt sind.



Die punktirten Linien deuten die Minimalreihen an.

Die verschiedenen, in dem Bisherigen mitgetheilten Thatsachen werden genügen, darzulegen

1) dass die Beckenneigung nicht eine absolute ist,
2) dass sie abhängig ist von der Beinstellung,
3) dass sie im Allgemeinen im weiblichen Becken eine steilere ist, als im männlichen Becken.

Die in den vorgenommenen Versuchen gewonnenen Werthe für das gewöhnliche aufrechte Stehen sind folgende:

1) für das ungezwungene aufrechte Stehen mit parallelen Beinaxen im männlichen Becken gegen 50°, im weiblichen gegen 55°,
2) für das militärische Stehen mit Knieschluss und auswärts gerichteten Fussspitzen im männlichen Becken über 50°, im weiblichen ungefähr 60°.

Anmerkung 1. In dem Obigen ist die Neigung der Konjugata stets für Bestimmung der Beckenneigung benutzt, weil sie als die geläufigere Bestimmungsweise auch die allgemein verständlichere ist.

Anmerkung 2. Für die genaueren Ausführungen und für das Verhältniss der früheren Bestimmungen der Beckenneigung zu den oben gegebenen ist auf den angeführten grösseren Aufsatz I. 6 zu verweisen.

Wirbelsäule und Beinstellung.

Die in dem letzten Abschnitte besprochenen Neigungsverhältnisse des Beckens müssen nothwendiger Weise ihren Einfluss noch in weiteren Kreisen geltend machen und bedingen zunächst einmal wichtige Modifikationen der ganzen Haltung, wie sich leicht aus den folgenden Erörterungen ergeben wird.

Man denke sich einen Körper in beliebiger mittlerer Haltung der Wirbelsäule und einer mittleren Neigung des Beckens so gestellt, dass seine Schwerlinie in die Mitte des Fuss-Viereckes fällt. Ein solcher Körper wird vollständig äquilibrirt ruhig und sicher dastehen.

Man verändere nun an diesem die Haltung der Beine so, dass dadurch eine gesenktere Beckenstellung hervorgebracht wird. Alsdann wird mit dem Kreuzbeine auch die Wirbelsäule, und somit der ganze Rumpf nach hinten sinken. Der Schwerpunkt desselben wird dadurch auch weiter nach hinten verlegt und mit diesem auch der allgemeine Schwerpunkt. Die Schwerlinie fällt dann nicht mehr in den Mittelpunkt des Fuss-Viereckes und überschreitet vielleicht gar, wenn die Veränderung eine beträchtlichere war, die Verbindungslinie der Fersenhöcker nach hinten. Das Stehen wird dadurch unsicherer oder, in dem letzteren Falle, unmöglich. Es wird deshalb eine Korrektion der Haltung nothwendig, welche die Schwerlinie wieder so weit nach vornen rückt, dass sie wieder in den Mittelpunkt des Fuss-Viereckes fällt. Dieses kann aber auf zweierlei Weise zu Stande kommen.

Entweder nämlich wird der ganze Körper, Rumpf und Beine in den Fussgelenken entsprechend weit nach vornen geneigt;

oder es wird durch Vorwärtsbeugung der Wirbelsäule der Schwerpunkt des Rumpfes und somit der allgemeine Schwerpunkt, so weit nöthig, nach vornen verlegt.

Wird dagegen in jenem Körper durch veränderte Stellung der Beine eine steilere Beckenstellung erzielt, so wird dadurch die Schwer-

linie zu weit nach vornen gerückt und daher eine Korrektion in dem entgegengesetzten Sinne nothwendig; und diese kann in analoger Weise wie die vorher erwähnte Korrektion auf die beiden Arten zu Stande kommen, nämlich

entweder durch Rückwärtsbewegung der Beine in den Fussgelenken,

oder durch Rückwärtsneigung der Wirbelsäule in der Lendengegend.

Selbstverständlich können für beiderlei Korrektionen die beiden für sie möglichen Arten sich in beliebigem Verhältnisse verbinden, oder einander ergänzen, wenn die eine für sich unzulänglich gefunden wird.

Es ist also hieraus zu erkennen, dass die Beckenneigung und damit auch die Haltung der Beine, welche diese bedingt, einen wesentlichen Einfluss auf die Haltung der Wirbelsäule üben muss; — bei parallelen oder etwas divergent gestellten Beinen mit gerade nach vornen gerichteten Fussspitzen ergibt sich schon von selbst eine grössere oder geringere Näherung an die vorwärts gebeugte »nachlässige« Haltung der Wirbelsäule; — und bei Knieschluss mit auswärtsgestellten Fussspitzen gibt sich ebenso von selbst schon die in der Lendengegend eingebogene »militärische« Haltung der Wirbelsäule. Es ist deswegen ein ganz richtiger, ohne Zweifel der Beobachtung entnommener Grundsatz, wenn Militär-Instruktoren und Tanzmeister die letztere Stellung der Beine als Ausgangsstellung ihrer Uebungen verlangen.

Aber auch das Umgekehrte wird beobachtet und erklärt sich ebenso einfach.

In der vorwärts gebeugten »nachlässigen« Haltung der Wirbelsäule ist der Schwerpunkt des Rumpfes weiter nach vornen gerückt und mit ihm auch der allgemeine Schwerpunkt. Um dann die Schwerlinie möglichst in die Mitte des Fuss-Viereckes fallen zu lassen, ist es nothwendig, die Beine senkrechter zu stellen, oder ihnen in Bezug auf Spreizung und Rotation eine solche Stellung zu geben, dass das Becken in eine gesenkte Stellung kommt. — Nachlässige Haltung der Wirbelsäule und parallele oder etwas divergent gestellte Beine, sowie parallele Stellung der Füsse, sind daher integrirende Bestandtheile desselben Bildes der Haltung des gesammten Körpers.

In ähnlicher Weise verhält es sich bei der »militärischen« Haltung der Wirbelsäule. Der Schwerpunkt des Rumpfes ist hier weiter nach hinten, und für den Zweck richtiger Unterstützung desselben müssen daher die Beine mehr nach vornen geneigt werden oder sie müssen in eine solche Stellung gebracht werden, durch welche das Becken steiler

gestellt wird; — eine solche Stellung ist aber z. B. der Knieschluss mit auswärts rotirten Fussspitzen. Bei Geraderichten der Wirbelsäule findet sich deshalb auch diese Haltung der Beine unwillkürlich von selbst ein, und wenn dieses nicht genügt, werden die Beine noch entsprechend nach vornen geneigt. Nur sehr dicke Individuen, bei welchen die seitliche Aequilibrirung etwas schwieriger ist, pflegen sich bei »breitspurigem« Stehen allein auf das Vorwärtsneigen der Beine zu beschränken.

Vgl. übrigens hierüber auch II. 9.

Die angegebenen Verhältnisse erklären denn auch die Haltung der Beine, welche beim gewöhnlichen Stehen beobachtet wird. Es ist natürlich, dass, je mehr Näherung an »nachlässige« Haltung der Wirbelsäule da ist, um so mehr eine Näherung der Beine gegen die senkrechte Stellung gefunden wird, und dass ferner eine mehr nach vornen geneigte Lage der Beine gefunden werden muss, je mehr die Haltung der Wirbelsäule sich der »militärischen« nähert.

Bei der ungezwungenen aufrechten Stellung in dem letzteren Sinne pflegt die Schieflage der Beine der Art zu sein, dass eine Senkrechte aus der Hüftaxe in die Verbindungslinie der Metatarsusköpfchen der beiden kleinen Zehen fällt. Man überzeugt sich davon leicht, wenn man am vorderen Rande des Trochanter ein Senkel herablässt, denn dieses trifft das Metatarso-Phalangal-Gelenk der kleinen Zehe.

Kurzbeinige stehen deshalb auch mit geneigteren Beinen aufrecht als Langbeinige. Für die gewöhnlichen Proportionen des Baues haben die Beine in der Ansicht von der Seite eine Neigung von ungefähr 7^{0} gegen die Senkrechte.

Der Gang.

In der vergleichenden Uebersicht über den Aufbau des Knochengerüstes und die Lokomotion wurde bereits darauf aufmerksam gemacht, dass der menschliche Gang vor dem Quadrupeden-Gange das Auszeichnende besitzt, dass bei ihm der Schwerpunkt nicht mit Nothwendigkeit stets unterstützt ist, und dass deswegen gewisse Eigenthümlichkeiten in demselben hervortreten müssen, welche ihn zu einer verhältnissmässig complicirten Bewegung machen.

Diese Eigenthümlichkeiten beziehen sich vorzugsweise auf die Art, wie nicht nur die Theile des Beines, sondern auch noch andere Theile des körperlichen Mechanismus benutzt werden, um bei der geringeren Unterstützung, wie sie bei dem Vorhandensein von nur zwei Beinen gegeben ist, doch entweder eine möglichste Unterstützung für den Schwerpunkt zu gewinnen oder den vorübergehenden Mangel einer solchen nicht nur unschädlich zu machen, sondern denselben sogar noch im Interesse der Vorwärtsbewegung zu benutzen.

Die verschiedenen Möglichkeiten, welche sich hierfür darbieten, sind Veranlassung dafür, dass eine verhältnissmässig grosse Anzahl von einzelnen Arten des Ganges aufgestellt werden kann, und dass deshalb eine typische Art des Ganges nicht aufgestellt werden kann, wenn auch in der Mehrzahl der Individuen dieselben Hauptgrundsätze für das Zustandekommen des Ganges beobachtet werden.

Um eine Uebersicht über alle vorkommenden Arten des Ganges zu gewinnen, ist es daher zuerst nothwendig, die einfachen Elemente zu untersuchen, aus welchen alle Gangarten gebildet werden. — Die individuelle Gangart wird immer nur hervorgebracht durch solche verschiedenartige Kombinationen dieser einfachen Elemente, wie Nothwendigkeit, Anlernung oder Laune sie erzeugen.

Erst nachdem diese Elemente erkannt sind, lässt sich diejenige Gangart aufstellen und motiviren, welche man als die verbreitetste antrifft, ohne dass deswegen individuelle Modifikationen ausgeschlossen sind.

1. Die Elemente des Ganges.

Die Fortbewegung mit Hülfe der beiden Beine muss nach dem in einem früheren Abschnitte über die Lokomotion aufgestellten Grundsatze in der Weise geschehen, dass das dem Rumpfe fernere Ende (Fussende) der Extremität an den Boden angestemmt wird und dass dann um dasselbe als Mittelpunkt eine Kreisbewegung des Rumpfendes ausgeführt wird, durch welche dieses und mit ihm der ganze Rumpf vorwärts geführt wird.

Es wurden an dem gleichen Orte zwei Grundformen der Bewegung unterschieden, deren Verschiedenheit sich auf die Lage der Ebene gründeten, in welcher der fördernde Kreisbogen beschrieben wurde; indem nämlich diese Ebene entweder senkrecht gestellt sein kann (parallel der Fortbewegungsebene) oder horizontal (senkrecht zur Fortbewegungsebene).

Beide Grundformen finden sich in dem menschlichen Gange wieder, wenn auch die zweite in etwas modificirter Gestalt.

Der senkrechte Bogen findet in seiner einfachsten Gestalt seinen Mittelpunkt in dem Fussgelenke. Durch ihn wird der Oberschenkelkopf und mit ihm der von demselben getragene Rumpf nach vornen bewegt. In seiner einfachsten Gestalt besitzt dieser Bogen, oder vielmehr seine Sehne, die Länge des Fusses von der Ferse bis zu dem Metatarsusköpfchen der grossen Zehe, d. h. die beiden Endpunkte des Bogens liegen über den genannten beiden Endpunkten des Fusses. Genau genommen ist indessen die Sehne etwas länger als der bezeichnete Theil des Fusses. Da nämlich die Astragalusaxe so gelegen ist, dass ihre Entfernung von dem Metatarsusköpfchen der grossen Zehe ungefähr doppelt so gross ist, als diejenige von dem Fersenhöcker, so muss die Sehne jenes Bogens so geneigt liegen, dass ihr vorderes Ende tiefer steht, als ihr hinteres und wenn denn doch die beiden Endpunkte der Sehne senkrecht über den beiden genannten Punkten des Fusses liegen, so muss die Sehne nothwendig etwas länger sein.

Der horizontale Bogen, wie er bei den Sauriern gefunden wurde, zeigt schon das Besondere, dass er seinen Mittelpunkt nicht in dem Fussgelenke findet, sondern in dem Kniegelenke, während der Unterschenkel und der Fuss ruhig stehen. Bei dem horizontalen Bogen, welcher an der Bildung des menschlichen Ganges Theil nimmt oder Theil nehmen kann, wird der Mittelpunkt des Oberschenkelkopfes Mittelpunkt der Bewegung und um denselben dreht sich das Becken so, dass dessen gegenüberliegende Seite nach vornen bewegt wird. Radius des Bogens ist also nur der Querdurchmesser des Beckens.

Die eben beschriebene einfachste Gestalt des horizontalen Bogens findet keine wesentliche Modifikation in ihrer Anwendung, indem sie nur verschieden sein kann in Bezug auf die Grösse (den Gradwerth) des Bogens, und in Bezug auf die Lage seiner Ebene. Diese ist nämlich nur im Princip eine horizontale, kann aber von der rein horizontalen Lage Verschiedenheiten zeigen und entweder mehr nach innen oder mehr nach aussen geneigt sein. Im Princip wird dadurch Nichts geändert.

Dagegen findet der vertikale Bogen nach mehreren Seiten hin beträchtliche Modifikationen, von welchen die wichtigste ist, dass er sich einer bedeutenden Vergrösserung fähig zeigt. Für das Verständniss dieser Möglichkeit ist es nothwendig daran zu denken, dass die Vorwärtsbewegung im Allgemeinen und insbesondere auch durch den vertikalen Bogen immer nur mit einem einzelnen Beine ausgeführt wird, welches man sich im Interesse der einfacheren Anschauung für jetzt als im Knie gesteift denken mag. Dieses einzelne Bein wird als vorderes auf den Boden gesetzt und bleibt (als tragendes) mit dem Boden in Berührung so lange, bis das andere Bein wieder vor ihm auf den Boden aufgegesetzt ist. Während es mit dem Boden in Berührung ist, führt das tragende Bein den vertikalen Bogen aus. — Wenn vorher die Grösse dieses Bogens als entsprechend der Länge des aufgesetzten Fusses bezeichnet wurde, so war dabei vorausgesetzt, dass der Körper ganz allein auf diesem Beine ruhe, während das andere Bein sich schwebend nach vornen bewegt, dass es somit zugleich die Aufgabe habe, den Schwerpunkt des Körpers zu unterstützen; — und allerdings kann unter dieser Voraussetzung der Bogen auch nicht grösser sein. Seine Vergrösserung erhält er nur dadurch, dass an das tragende Bein der Anspruch nicht

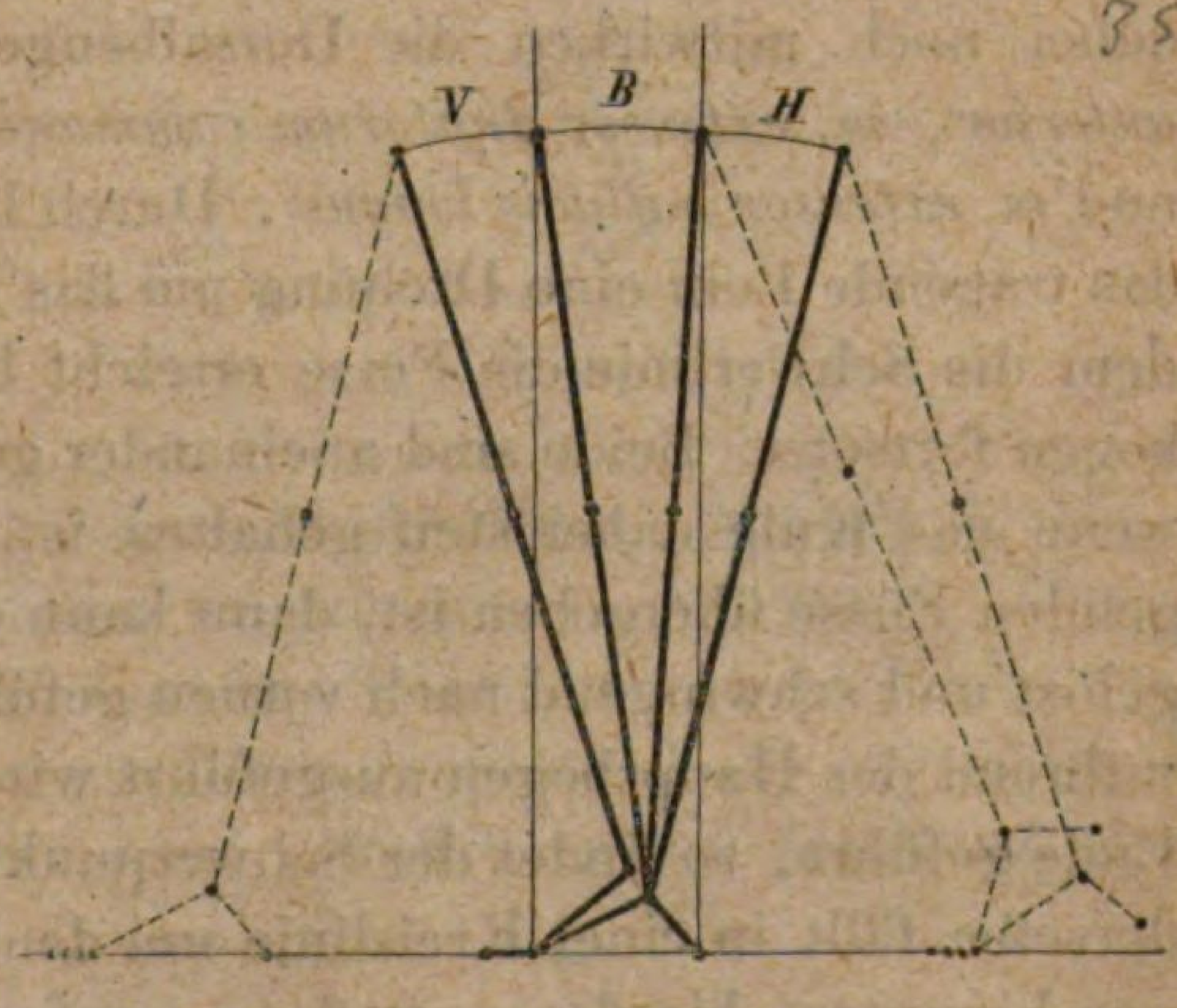


Fig. 39.

Fig. 39. — Darstellung der Bildung des vertikalen Bogens mit steifem Knie. — Das feststehende Bein, welches diesen Bogen ausführt, in ausgezogenen Linien. Das schwingende Bein punktirt. — *B* der Hauptbogen, — *H* der hintere Ergänzungsbogen, — *V* der vordere Ergänzungsbogen. — Der Einfachheit wegen ist der Schwerpunkt in dem Hüftgelenke liegend gedacht. In die Darstellung des Principes kommt dadurch kein wesentlicher Fehler.

gemacht wird, dass es während der ganzen Dauer seiner Aktion den Schwerpunkt unterstütze. Hierdurch kann der Bogen eine hinter ihm und eine vor ihm liegende Ergänzung finden; so dass er dann aus drei Theilen zusammengesetzt wird, welche als Hauptbogen, hinterer Ergänzungsbogen und vorderer Ergänzungsbogen bezeichnet werden können. Nur während der Ausführung des Hauptbogens unterstützt das tragende Bein den Schwerpunkt und hierin besteht eben die Charakteristik dieses Bogens oder Bogentheiles. Der hintere Ergänzungsbogen kommt in folgender Weise zu Stande: Das tragende Bein berührt mit seiner Fusssohle den Boden, ehe noch in der Vorwärtsbewegung der Schwerpunkt so weit nach vornen gerückt ist, dass er über der von der Sohle berührten Bodenfläche wäre; die Schwerlinie fällt also noch hinter dem aufgesetzten Fusse herunter und das jetzt hintere (stemmende) Bein muss für's Erste noch helfen, den Schwerpunkt zu unterstützen; die Schwere wird also jetzt von beiden Beinen getragen. Damit nun aber das hintere Bein vom Boden gelöst und vorgesetzt werden könne, ist es nothwendig, dass vorher die Schwere ganz dem aufgesetzten (tragenden) Beine übergeben werde; — dieses aber ist nur dadurch möglich, dass diesem letzteren in dem Fussgelenke eine solche Bewegung gegeben wird, dass die Schwerlinie zuletzt in die Ferse fällt. Diese Bewegung kommt zu Stande durch ein stemmendes Vorwärtsschieben des Beckens durch Hülfe des hinteren Beines; — unterstützend können dabei noch mitwirken die Dorsalbeuger des Fussgelenkes (*m. tibialis anterior*, *m. extensor digitorum communis* mit dem *m. peronaeus tertius* und *m. extensor hallucis longus*). Durch Hülfe dieser Thätigkeiten erfährt das tragende Bein eine Drehung um das Fussgelenk, welche sich, nachdem die Schwerlinie die Ferse erreicht hat, unmittelbar in den Hauptbogen fortsetzt. Beide sind aneinander gereihte Theile desselben Kreises, wenn das Knie dabei steif gehalten ist. — Wenn die Schwere dem tragenden Fusse übergeben ist, dann kann das hintere Bein von dem Boden gelöst und schwingend nach vornen geführt werden und dieses geschieht, während der Hauptbogen ausgeführt wird. Ist dann der Hauptbogen zu Ende geführt, so findet der Schwerpunkt keine Unterstützung mehr und derselbe fällt in einer Kreislinie um den Fuss als Mittelpunkt nach vornen hinunter, bis das unterdessen aufgesetzte andere Bein den weiteren Fall hemmt. Dieser Fallbogen ist der vordere Ergänzungsbogen. Findet das Umfallen um die Axe des Fussgelenkes statt, so ist derselbe unmittelbare Fortsetzung des Hauptbogens und Theil desselben Kreises; — findet es aber, wie gewöhnlich, um den Mittelpunkt des Metatarsusköpfchens der grossen Zehe statt, dann wird dieses zum Mittelpunkt des vorderen Ergänzungsbogens und dieser gehört dann einem anderen Kreise an, als der Hauptbogen.

Eine zweite wichtige Modifikation des vertikalen Bogens besteht in der Verlegung seines Mittelpunktes in das Knie. In dem Obigen wurde, um überhaupt einmal den Grundsatz scharf hinstellen zu können, nach welchem der vertikale Bogen zu Stande kommt, das Bein als ein im Knie steifes Ganze angenommen, wobei es gleichgültig ist, ob man sich das Knie in Streckung oder in halber Beugung steif denken will. Bekanntlich ist nun aber das Knie, pathologische Fälle abgerechnet, beweglich und diese Beweglichlichkeit kann und muss für die Ausführung des vertikalen Bogens von Wichtigkeit werden können. Es kann dadurch sogar die Beweglichkeit des Fussgelenkes ganz entbehrlich werden, so dass dieses an der Ausführung des vertikalen Bogens durchaus unbetheiligt bleibt. Man wird dieses Verhältniss am Leichtesten verstehen, wenn man sich den Hauptbogen rückwärts konstruirt. Man denke sich für diesen Zweck das Bein mit Kniestreckung so nach vornen geneigt, dass die Schwerlinie in das Metatarsusköpfchen der grossen Zehe fällt. Lässt man nun bei stehenbleibendem Unterschenkel eine Kniebeugung eintreten, so wird die Schwerlinie bis zur Ferse und noch hinter die Ferse zurückgeführt werden. Geht man nun wieder von dieser letzteren Stellung aus, so erkennt man leicht, dass durch Bewegung nur in dem Kniegelenke als Mittelpunkt sowohl der hintere Ergänzungsbogen als auch der Hauptbogen ausgeführt werden kann. Der vordere Ergänzungsbogen kann alsdann indessen nicht als Fortsetzung der Kreisbewegung um denselben Mittelpunkt geschehen, weil das Knie keine Dorsalbeugung gestattet, sondern er muss um den Mittelpunkt des Metatarsusköpfchens ausgeführt werden.

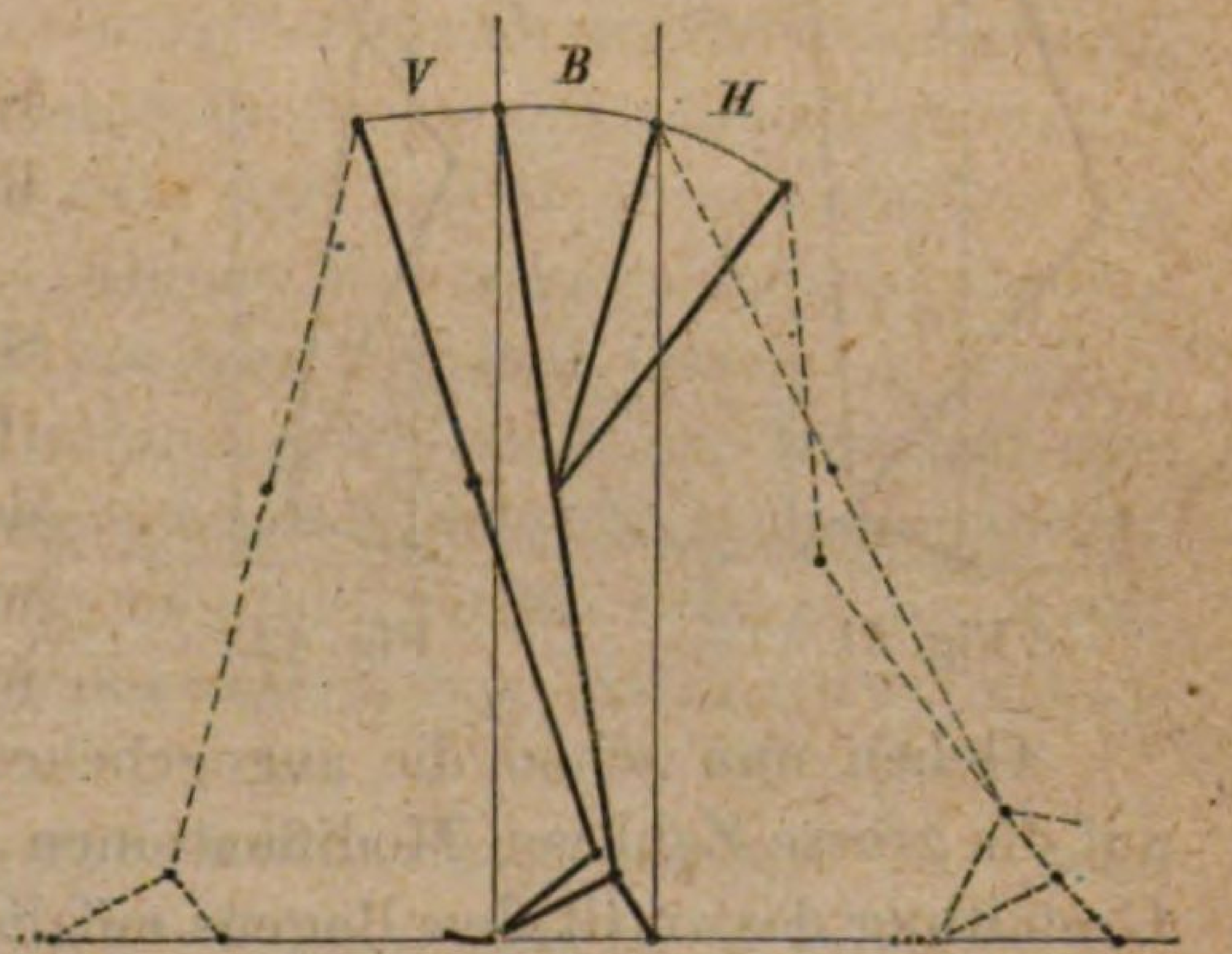


Fig. 40.

Beide Hauptarten der Ausführung des vertikalen Bogens können begreiflicher Weise auch gleichzeitig ausgeführt werden, so dass sie sich gegenseitig ergänzen, und eine jede derselben einen gewissen Antheil an der Bildung des Bogens gewinnt.

Die Vereinigung der Bewegung in den beiden möglichen Mittel-

Fig. 40. Der vertikale Bogen in seinen beiden hinteren Theilen durch Kniestreckung bei ruhendem Unterschenkel ausgeführt. — Bezeichnung wie in Fig. 39.

punkten führt aber auch wieder zu einer dritten wichtigen Modifikation. Es kann nämlich die Bewegung um die beiden Mittelpunkte in der Art geschehen, dass der Bogen um den einen derselben in dem bisher besprochenen Sinne der wirklichen Vorwärtsbewegung geschieht, um den anderen jedoch im rückläufigen Sinne, so dass aber doch das Gesammtergebniss der beiden Bewegungen eine Vorwärtsbewegung ist.

Eine Vorwärtsbewegung im Fussgelenk und gleichzeitige Rückwärtsbewegung im Kniegelenk, also gleichzeitige Beugung beider Gelenke (Fig. 41), findet sich in dem fallenden oder in dem kraftlosen Gange. (Unter Fussbeugung ist hier die dorsale Beugung des Fussgelenkes zu verstehen.)



Fig. 41.

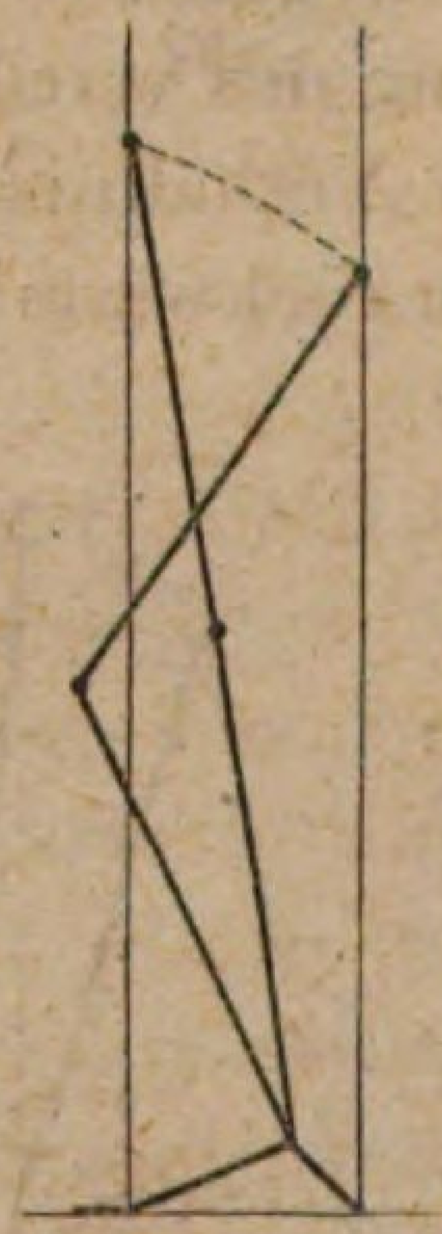


Fig. 42.

Eine Vorwärtsbewegung im Kniegelenk und gleichzeitige Rückwärtsbewegung im Fussgelenk, also gleichzeitige Streckung beider Gelenke (Fig. 42), ist als Regel ein Theil der gewöhnlichen Art des Ganges, wie in Späterem noch ausgeführt werden soll.

Geben nun schon die angegebenen Verhältnisse eine Hinweisung auf die grosse Zahl von Modifikationen, welche in der Ausführung und Gestaltung des vertikalen Bogens möglich sind, indem die verschiedenen Elemente, welche denselben zu bilden vermögen, in verschiedenem Grade mit einander kombinirt werden können, — so muss die Zahl der möglichen Modifikationen noch bedeutend vermehrt werden, wenn man noch die Kräfte in Rücksicht nimmt, welche die einzelnen besprochenen Bewegungen ausführen, und von welchen die eine oder die andere oder eine Vereinigung mehrerer für die einzelne einfache Bewegung thätig sein kann. Diese Kräfte sind aber: Schieben durch den Druck des hinteren (stemmenden) Beines, — Schwere- und Muskelthätigkeit in dem bewegten Gelenke. So kann beispielsweise der Hauptbogen aus-

Fig. 41. — Ausführung des Hauptbogens durch (Dorsal-) Beugung im Fussgelenk und Beugung im Kniegelenk.

Fig. 42. — Ausführung des Hauptbogens durch Streckung im Fussgelenk und Streckung im Kniegelenk. Eine Ausführung desselben durch Beugung im Fussgelenk und Streckung im Kniegelenk kommt in ähnlicher Weise zu Stande, wie die Ausführung des hinteren Ergänzungsbogens in Fig. 40 durch das hintere (punktirte) Bein ausgeführt wird.

geführt werden 1) durch Nachschieben mit Hülfe des stemmenden Beines, — 2) durch Thätigkeit der Muskeln des Kniegelenkes und des Fussgelenkes in verschiedener Kombination, und — 3) in seinem vor dem Fussgelenke liegenden Theile durch die Schwere.

Weitere Verschiedenheiten des vertikalen Bogens, namentlich in Bezug auf das gegenseitige Verhalten der drei Theile desselben, werden noch später bei Besprechung der Individualitäten des Ganges Berücksichtigung finden.

Die in ihren Hauptformen und Modifikationen soeben dargestellte Bewegung ist nun allerdings das wesentlichste Element des Ganges, indem es die Grundlage der Fortbewegung überhaupt ist. Da nun aber der Gang als Ganzes nur dadurch zu Stande kommt, dass die beschriebene Bewegung abwechselnd in dem einen und dem anderen Beine ausgeführt wird, so ist es nothwendig, dass immer das hinten gebliebene Bein wieder nach vornen gelangt, um seinerseits auf den Boden aufgesetzt, die Weiterbewegung zu übernehmen. Dieses Vorsetzen des hinteren Beines ist das zweite Hauptelement in dem Gang.

Die Zeit, in welcher das Vorsetzen geschieht, muss natürlich diejenige sein, in welcher auf dem tragenden Beine der Hauptbogen ausgeführt wird, denn in diesem Zeitraume allein ist die Schwere durch das tragende Bein so unterstützt, dass das andere Bein dafür entbehrt werden kann.

Die Bewegung, welche das hintere Bein auszuführen hat, um wieder zum vorderen zu werden, besteht in der Hauptsache in einer bogenförmigen Bewegung seines Fusses um das Hüftgelenk als Mittelpunkt. Diese Bewegung hat in ihrer äusseren Erscheinung entschiedene Aehnlichkeit mit der Schwingung eines Pendels; man hat sie deswegen auch mit einer solchen verglichen und spricht von der Pendelbewegung oder Pendelschwingung des betreffenden Beines. Man geht aber zu weit, wenn man, die äussere Erscheinung allein berücksichtigend, diesem Beine geradezu eine »Pendelschwingung« beimisst, d. h. eine bogenförmige Bewegung um einen Aufhängepunkt, welche durch Schwerewirkung begonnen und nach dem Gesetze der Beharrung über den Punkt des stabilen Gleichgewichtes hinaus fortgesetzt wird. — Unverkennbar ist es zwar, dass das nach hinten aufgehobene Bein, der Schwere folgend, in die senkrechte Lage hinabfallen muss; auch wird die Möglichkeit nicht zu bestreiten sein, dass dasselbe nach dem Gesetze der Beharrung die stabile Gleichgewichtslage etwas überschreiten kann, aber es ist nicht anzunehmen, dass die danach folgende aufsteigende Oscillation irgend eine grössere Ausdehnung werde gewinnen können. Man

muss nur daran denken, dass das Bein in dem Hüftgelenke nicht frei und lose aufgehängt ist, sondern dass das Hüftgelenk von einer verhältnissmässig sehr dicken Schichte von Muskelmasse umgeben ist. Schon während das Bein in die senkrechte Lage hinabsinkt, muss seine Bewegung an diesen Massen einen Widerstand finden, indem dieselben theils geknickt, theils gezerrt werden müssen, wenn das Sinken des Beines geschehen soll. Das Sinken (die absteigende Oscillation) muss deshalb schon durch diese Widerstände mit verminderter Kraft geschehen; und wenn nun dieselben Widerstände zu wirken fortfahren, so werden sie der aufsteigenden Oscillation, zu welcher der Antrieb ohnedies schon unbedeutend genug sein muss, bald ein Ende setzen. Die blosse Pendelung des Beines für sich würde also keineswegs genügend sein, den Fuss in entsprechender Weise nach vornen zu bewegen, selbst wenn dasselbe noch eine Andeutung von aufsteigender Oscillation finden sollte.

Dagegen könnte allerdings eine etwas beträchtlichere aufsteigende Oscillation zu Stande kommen, wenn die Wirkung der Schwere noch durch einen Impuls so unterstützt würde, dass die Widerstände dadurch leichter überwunden werden könnten; — so waren ja auch die Brüder Weber[1]), um ordentliche Schwingungen in das hängende Bein zu bringen, genöthigt, »dem Beine bei jedem Durchgange durch die senkrechte Lage von hinten nach vorn, eine geringe Beschleunigung oder einen kleinen Stoss zu ertheilen«. — Dass das Bein während der gewöhnlichen Gehbewegung einen solchen Impuls zu erhalten pflegt, wird sich in dem Folgenden zeigen, und damit wäre nun allerdings die Pendelbewegung in so weit gerettet, als man ihr wenigstens einen Antheil an der Vorwärtsbewegung des hinteren Beines beimessen kann.

Wenn nun der Pendelung nicht mehr als nur ein gewisser Antheil an dem Vorsetzen des hinteren Beines beigemessen werden darf, so müssen andere Ursachen gesucht werden, welche die angegebene Erscheinung hervorbringen oder hervorbringen helfen. Solche finden sich aber in dem folgenden Verhältnisse: In dem Augenblicke, in welchem das hintere Bein sich von dem Boden ablöst, befindet sich dasselbe in extremer Streckstellung gegen das Becken und dieses ist mit starker Neigung gegen vornen in einer Beugestellung gegen das Femur des tragenden Beines. Wenn nun dieses letztere während des Vorsetzens des anderen zum hinteren Beine wird, so wird das Becken gegen dieses in Streckstellung gebracht und erfährt dabei eine Drehung um den Oberschenkelkopf desselben und zwar führt diese Drehung das Hüftbein gegen hinten und das Sitzbein gegen vornen. Da nun das abgelöste

1) Mechanik der Gehwerkzeuge. S. 250—251.

(schwebende) Bein, wie das Sitzbein, nach unten von der Pfanne sich befindet, so muss auch dieses eine Bewegung gegen vornen erhalten, und indem es dieser Drehung des Beckens folgt, erhält somit hierdurch allein schon das Bein eine bogenförmige Vorwärtsbewegung um die Hüftaxe, deren Grösse ich in I. 11. S. 26—27 für ein bestimmtes Beispiel auf 18° angeben konnte. — Diese Bewegung muss aber auch dem schwebenden Beine zugleich den vorher besprochenen Impuls ertheilen, welcher die Pendelbewegung unterstützt.

Das Vorsetzen des hinteren Beines erscheint demnach als die vereinigte Wirkung der Streckbewegung des Beckens auf dem tragenden Beine und einer durch diese Bewegung unterstützten (accelerirten) Pendelschwingung.

Das Aufsetzen auf den Boden kommt dann nur dadurch zu Stande, dass der Körper in dem vorderen Ergänzungsbogen nach vornen umfällt und dass dadurch das nach vornen gehobene Bein mit seinem Fusse an den Boden gedrückt wird.

Viele Modifikationen können in diesem Elemente des Ganges nicht vorkommen. In der Form kann nur die Verschiedenheit sein, dass das vorgesetzte Bein in geraderer oder zusammengezogenerer Gestalt seine Bewegung ausführt, eine für das Princip der Bewegung sehr unwichtige Verschiedenheit, — und in Bezug auf die mitwirkenden Kräfte kann nur eine Verschiedenheit sein in Bezug auf die Lebhaftigkeit der Streckaktion in dem Becken und in Bezug auf Beihülfe durch Beugemuskeln des Hüftgelenkes, welche die Erhebung des schwebenden Beines nach vornen unterstützen können.

Wenn nun die Gangbewegung dadurch zu Stande kommt, dass abwechselnd auf dem einen und auf dem anderen Beine der Rumpf in einer bogenförmigen Bewegung nach vornen geführt wird, und wenn dabei vorübergehend der ganze Körper nur von dem tragenden Beine gestützt wird, so ist es auch nothwendig, dass für diese Zeit die Schwerlinie in den Fuss dieses Beines fällt. Diejenigen Vorgänge oder Thätigkeiten, welche nothwendig sind, um dieses Aequilibriren des Körpers auf einem Beine zu ermöglichen, bilden das dritte Hauptelement des Ganges.

Die nothwendige seitliche Aequilibrirung kann aber auf mehrfache Weise zu Stande kommen, welche theils durch Muskelthätigkeiten herbeigeführt wird, theils in dem Mechanismus der Beingelenke begründet ist.

Soll in dem ruhigen Aufrechtstehen die Schwere auf nur ein Bein geworfen werden, d. h. soll der ganze Körper auf einem Fusse, z. B. dem

linken, als Unterstützung äquilibrirt werden, so sind dafür folgende Hülfsmittel möglich:

1) Eine abduktorische Bewegung in dem linken Hüftgelenke hebt den Rumpf mit dem rechten Beine schief seitlich auf, bis die Schwerlinie in den linken Fuss fällt[1].

2) Diese Bewegung kann auch statt durch die Hüftgelenkmuskeln der linken Seite (*m. glutaeus medius* und *minimus*) durch eine abstossende Bewegung der rechten Seite mit Hülfe von Fussstreckung hervorgebracht werden.

3) Eine adduktorische Bewegung in dem linken Hüftgelenke schiebt das Becken und mit ihm den ganzen Rumpf nach links, bis die Schwerlinie in den linken Fuss fällt; das rechte Bein kann dabei in abduktorischer Stellung mit dem Boden in Berührung bleiben, natürlich jedoch ohne an dem Tragen des Körpers Theil zu nehmen.

4) Dieselbe Verschiebung des Beckens kann auch, statt durch die Abduktoren des linken Beines, ausgeführt werden durch die Abduktoren des rechten Beines; wobei indessen das Fussgelenk nicht durch seine Muskeln festgestellt sein darf, sonst erscheint die Bewegung, welche oben unter 1 angeführt wurde.

5) Ein Vorwärtsneigen des in seiner Haltung in sich unveränderten Körpers in der Flexionsebene des linken Unterschenkels gegen den Astragalus, führt wegen der schiefen Richtung dieser Ebene den Rumpf so weit nach aussen, dass seine Schwerlinie in den linken Fuss fällt[2].

6) Auch diese Bewegung kann so ausgeführt werden, dass sie nicht eine Muskelthätigkeit in dem linken Beine ist, sondern durch eine abstossende Bewegung mit Hülfe des rechten Beines zu Stande kommt.

7) Nachdem durch irgend eine Bewegung oder Haltungsänderung die Schwerlinie so weit nach vornen verlegt ist, dass sie nahe der Verbindungslinie der Metatarso-Phalangalgelenke beider Füsse fällt, so kann auch eine Erhebung auf die Zehen des linken Fusses wegen der schiefen Lage der gemeinsamen Axe der fünf Metatarso-Phalangalgelenke desselben Fusses eine solche Seitwärtsbewegung bedingen, dass alsdann der Schwerpunkt seitlich äquilibrirt ist. — Die Schwerlinie fällt dann allerdings zwar nicht in das linke Fussgewölbe, aber doch in die von den Zehen gedeckte kleine Fläche des Bodens. — Auch hier

1) Vgl. I. 2. S. 367—369.
2) Vgl. I. 2. S. 369—370.

kann die betreffende Bewegung in dem linken Fusse mehr Aktivität seiner Muskeln sein oder mehr Wirkung einer Abstossung mit Hülfe des rechten Beines.

8) In Bezug auf die seitliche Aequilibrirung durch Bewegung um die gemeinsame Axe der fünf Metatarso-Phalangalgelenke des Fusses ist übrigens noch darauf aufmerksam zu machen, dass diese Bewegung in zweierlei Weise zu Stande kommen kann, nämlich:
 a) durch Erheben auf die Zehen mittelst der Streckung des Fussgelenkes,
 b) durch Umfallen des Körpers um die genannte Axe, nachdem auf irgend eine Weise (auch z. B. durch Dorsalflexion des Fusses) die Schwerlinie bis vor die Metatarsusköpfchen bewegt worden ist [1]).

9) Eine wichtige Art, wie die seitliche Aequilibrirung zu Stande kommen kann, ist ferner noch in dem Kniegelenk gegeben. Dieselbe ist aber dadurch von den bisher besprochenen verschieden, dass dieselbe nicht ausschliesslich eine Aequilibrirung nach aussen, sondern auch eine solche nach innen zu Stande bringen kann. — Die betreffende Bewegung im Kniegelenk ist die Rotation des Unterschenkels um seine eigene Längenaxe bei Beugung des Kniees. Nach den in I. 3. S. 534—535 mitgetheilten Versuchen besitzt für jeden Beugungsgrad des Kniees diese Rotation in der Richtung nach innen den gleichen Werth, in der Richtung nach aussen dagegen nimmt sie mit zunehmender Beugung des Kniees ebenfalls zu. Wenn man die Mittellinie des Fusses in ihrer gewöhnlichen ungezwungenen Lage, welche sie auch beim Aufsetzen des Fusses im Gehen besitzt, als massgebend für die Unterscheidung der Rotation nach innen und derjenigen nach aussen aufstellt und derselben einen Winkel von ungefähr 20° gegen die Mittelebene des Körpers gibt, so hat die mögliche Rotation der Fussspitze gegen innen in jeder Beugestellung des Kniees eine Grösse von c. 25°—30°, die Rotation nach aussen aber bei einem Beugungswinkel von 150° nur 12°, bei einem solchen von 120° sodann 13°, bei 90° Beugungswinkel ist sie 22°, und bei 60° Beugungswinkel 32°. — Wird dieselbe Bewegung bei ruhendem Unterschenkel ausgeführt, so nimmt sie den Charakter an, dass sich der Kopf des Femur um die nach oben fortgesetzte Axe des Unterschenkels in einer Ebene dreht, welche senkrecht zu der eben bezeichneten Axe gestellt ist. Das ganze

1) Ueber die in 7 und 8 enthaltenen Sätze vgl. I. 2. S. 370—384.

Femur beschreibt dabei je nach dem Beugungsgrade des Kniees einen Theil der Oberfläche eines Trichters oder eines Kegels, deren Axe die Axe des Unterschenkels oder deren Fortsetzung ist. Von dem Kreise, von welchem der Femurkopf in der Rotation einen Theil beschreibt, liegt die eine Hälfte nach innen von der Flexionsebene des Kniees und die andere Hälfte nach aussen von derselben. — Ist nun das Bein mit dem Fusse auf den Boden aufgesetzt und der Unterschenkel etwas nach vornen geneigt, so ist jene Kreisebene, in welcher sich der Femurkopf dreht, ebenfalls geneigt und ihr höchster Punkt ist in der Flexionsebene gelegen; — und wenn der Femurkopf nach geschehener Kniebeugung nach der einen oder nach der anderen Seite hin durch die Rotation geführt wird, so muss er jedenfalls hinabsinken; — ebenso muss aber auch der Femurkopf, wenn er bei festgestelltem Unterschenkel und gehemmter Weiterbeugung des Kniees durch seine Belastung hinuntergedrängt wird, in Gestalt einer Rotation nach aussen oder nach innen hinabsinken. Mit diesen beiden Bewegungen des Femurkopfes muss aber auch zugleich der Schwerpunkt des Körpers nach aussen oder nach innen geführt werden. Ob das Eine oder das Andere geschieht, hängt davon ab, ob die Schwerlinie nach aussen oder nach innen von der Flexionsebene des Kniees hinabfällt; und dieses kann von zufälligen Umständen abhängen oder auch durch den Willen bestimmt werden. — Somit kann also die besprochene Rotation in dem Knie sowohl für die seitliche Aequilibrirung benutzt als auch dazu verwendet werden, eine Uebertreibung der seitlichen Aequilibrirung durch die früher besprochenen Aktionen zu korrigiren.

Die Rotation im Kniegelenk gestattet also auch eine Kompensation für eine allenfalls zu weit gehende seitliche Aequilibrirungsbewegung. — In dem gleichen Sinne kann aber auch noch die Drehung in der Fusswurzel um die schiefe Axe des Astragalus verwendet werden, die Drehung um die Axe nämlich, welche aus dem Kopf des Astragalus in die Ferse geht. An dem frei schwebenden Fusse wird durch die Bewegung der übrigen Fusswurzel um diese Axe der äussere Fussrand gesenkt und der innere gehoben. Wenn aber der Fuss auf dem Boden festgestellt ist, so dass in der durch die übrige Fusswurzel gebildeten Höhlung der Astragalus sich selbst um diese Axe drehen muss, so wird dieselbe Bewegung zu einer Einwärtsführung der Astragalusrolle und somit des Unterschenkels und des ganzen Körpers, während der Astragaluskopf auf dem Fussrücken nach aussen hervortritt. — Diese Bewegung kann nur durch Muskelthätigkeit um das

Fussgelenk, namentlich durch den *m. tibialis posterior* zu Stande kommen, — oder durch einen werfenden Ruck in der Richtung gegen innen, welcher durch eine Bewegung im Rumpfe selbst oder durch ein Schleudern der Arme erzielt wird. — Jedenfalls hat aber diese Bewegung im Fussgelenke immer mehr oder weniger den Charakter einer bewussten Reaktion gegen das Ueberfallen nach aussen.

Im Anschlusse an diese verschiedenen Möglichkeiten für das Zu-Stande-kommen der seitlichen Aequilibrirung ist nur noch in Kürze daran zu erinnern, dass seitliche Verbiegungen im Rumpfe und Ausstrecken der Arme ebenfalls geeignet sind, eine seitliche Aequilibrirung zu vermitteln, indem sie den Schwerpunkt innerhalb des Rumpfes nach einer oder der anderen Seite hin verlegen.

Nachdem die Möglichkeiten für die seitlichen Aequilibrirungen des Körpers erkannt sind, ist es noch angemessen auch zu untersuchen, wie weit die Ausführung derselben nothwendig ist.

Wenn man beobachtet, wie bei dem Gange die Füsse gesetzt zu werden pflegen, so findet man, dass dieses allerdings wohl in der Weise geschieht, dass die Verbindungslinie der Fersen aller rechtseitigen Fussspuren gegen die entsprechende Linie der linkseitigen Fussspuren eine gewisse grössere oder geringere Entfernung zeigt. In diesem Falle muss natürlich der Schwerpunkt des Körpers in mehr oder weniger starker Schwankung mit jedem Schritte von einer Seite zur anderen hinübergeführt werden. Eine solche »breitspurige« Gangart ist übrigens nicht häufig.

Das gewöhnliche gegenseitige Verhalten der Spuren beider Füsse ist das, dass eine einzige gerade Linie durch die Mittelpunkte der Fersen aller Fussspuren, rechtseitiger und linkseitiger, hindurchgeht, und die Spitzen der Füsse sind etwas nach aussen gerichtet, je nach der Individualität einmal mehr und ein andermal weniger.

Diese Thatsache weist darauf hin, dass in dem schwebenden Beine, während dasselbe nach vornen schwingt, um auf den Boden niedergesetzt zu werden, irgend welche Verhältnisse wirken, welche dessen Fuss weiter nach innen führen und dadurch die Uebertragung der Schwere auf den nach vornen aufgesetzten Fuss wesentlich erleichtern. Es ist zu untersuchen, welches diese Verhältnisse sind.

Zum bequemeren Ueberblick über die Art, wie die Füsse im gewöhnlichen Gehen gestellt werden, erscheint es angemessen in der Richtung der Fortbewegung drei unter einander parallele Linien zu ziehen. Die mittlere derselben ist die oben bezeichnete, welche durch die Mittelpunkte der Fersen aller Fussspuren geht; und an beiden Seiten von

dieser Linie geht jederseits eine Linie, welche die Zehenenden der Fussspuren ihrer Seite verbindet. Der Abstand der beiden seitlichen Linien von der mittleren Linie muss um so grösser sein, je mehr die Füsse im Gehen »auswärts« gesetzt werden.

Wenn das hintere Bein von dem Boden sich ablöst, dann ist sein Knie gebeugt und sein Fussgelenk gestreckt; — und seine Ferse steht mehr oder weniger senkrecht über seiner Fussspitze, also über der Seitenlinie seiner Seite. Nach dem Aufsetzen auf den Boden ist die Fussspitze wieder in dieser Seitenlinie und die Ferse in der mittleren Linie. Dadurch wird die schiefe Richtung bezeichnet, in welcher das Bein nach vornen bewegt wird, und welche allein es auch möglich macht, dass dasselbe an dem tragenden Beine vorbeikommen kann.

Die Entstehung der Schiefstellung des Fusses im Aufsetzen desselben kann von verschiedenen Verhältnissen abhängen, welche einzeln oder auch zusammen darauf hinwirken müssen.

Vor Allem ist hier die Thatsache zu beachten, dass die Fuss**spitze** in gerader Richtung der Seitenlinie folgend nach vornen geht, und dass nur die Ferse jene schiefe Richtung einschlägt. Die Ursache hierfür ist in dem Verhalten des frei schwebenden Fusses zu erkennen. Untersucht man an einem frei hängenden Beine den frei hängenden Fuss, so findet man, dass derselbe, seiner Schwere folgend, einerseits eine Streckstellung gegen den Unterschenkel eingenommen und andererseits sich um die schiefe Astragalusaxe so gedreht hat, dass sein äusserer Rand tiefer steht, als sein innerer Rand. Der niedrigste Theil des Fusses ist demnach die Gegend der kleinen Zehe. Es ist also natürlich, dass bei dem Niedersetzen des Fusses dieser Theil desselben zuerst den Boden berührt und von demselben festgehalten wird, während das übrige Bein noch seine Beweglichkeit behält. Daraus geht nun nothwendig hervor, dass eine fortgesetzte Bewegung des Beines in Gestalt einer Drehung um den fixirten vorderen Kleinzehenrand geschehen muss. Vorausgesetzt, es würde die ursprüngliche Schwingung des Beines genau nach vornen gehen und zwar so, dass nicht nur die Fussspitze, sondern auch die Ferse der Seitenlinie folgt, so könnte die Drehung der Ferse um die Fussspitze sowohl nach aussen als auch nach innen geschehen. Es müssen daher bestimmte Gründe vorhanden sein, warum gerade die Drehung nach innen zu Stande kommt; und als solche Gründe erkennt man die folgenden:

1) Da die Kräfte, welche die Schwingung des Beines zu Stande bringen, in der Axe des Beines als ihrem Angriffspunkte wirkend gedacht werden müssen, so ergibt sich als nothwendige Folge, dass bei Hemmung der Bewegung an einem nach **aussen**

gelegenen Punkte, die Weiterbewegung der inneren Punkte als Drehung um diesen äusseren Punkt geschehen muss. Damit ist also schon die Nothwendigkeit gegeben, dass die Drehung der Ferse um die Fussspitze nach innen geschieht. — Die Richtigkeit der Auffassung dieses Vorganges wird noch bestätigt durch die Beobachtung des fehlerhaften Ganges mit einwärts gestellten Fussspitzen. Wenn diese fehlerhafte Haltung des Fusses so stark ist, dass die Axe des Beines nach aussen von der kleinen Zehe fällt, dann wird bei dem Aufsetzen des Fusses die Ferse nach aussen getrieben und der Fuss noch mehr »einwärts« gestellt. Man kann dieses namentlich bei Klumpfüssigen sehr stark ausgesprochen sehen.

2) Ein zweites wirksames Moment für die Führung der Ferse nach innen ist in der Thätigkeit der Muskeln des tragenden Beines zu finden. Diejenigen Muskeln nämlich, welche während der Schwingung des nach vornen gehenden Beines das Becken um den Oberschenkelkopf des tragenden Beines aufrichten, üben zum grossen Theil eine adduktorische Wirkung auf den unteren Theil des Beckens aus, so namentlich die ganze Gruppe der Adduktoren und die Gruppe der an dem *tuber ischii* angehefteten Kniegelenkmuskeln (*m. semimembranosus*, *m. biceps* und *m. semitendinosus*). Mit der Aufrichtung des Beckens erhält also der untere Theil desselben zugleich einen adduktorischen Ruck nach innen, welcher auch das Hüftgelenk der anderen Seite und somit das ganze andere Bein gegen innen führen muss. Hat nun, während dieses geschieht, der äussere Fussrand bereits den Boden berührt, so muss durch diese Bewegung eine weitere Ursache für das Einwärts-Schieben der Ferse gegeben sein.

3) Möglicher Weise kann noch eine dritte Ursache für die Einwärts-Bewegung des schwingenden Beines in der Lage der Pfanne gefunden werden. Wenn das Bein vollständig frei schwingt, so muss nämlich dasselbe eine solche Lage gegen die Hüftpfanne einnehmen, welche der Mittellage des Gelenkes möglichst entspricht. Die Mittellage des hängenden Beines, in welchem also auch noch die Schwere ihre Wirkung geltend macht, ist aber eine einwärts rotirte und adducirte. Man überzeugt sich hiervon leicht an einem aufgehängten Körper, z. B. beim Hängen an dem Reck bei Turnübungen; die Beine fallen da mit einwärts gerichteten Fussspitzen gekreuzt über einander. Ist das Bein in demjenigen Antheile seiner Vorwärtsbewegung, welcher reine Pendelschwingung ist, wirklich frei genug in dem Hüftgelenk, dass es der Neigung zu einer solchen Lage folgen kann, so

ist damit auch wieder ein Grund für die Einwärtsbewegung des Beines gegeben; — damit aber dabei der Fuss »auswärts« gestellt wird, ist auch hier wieder nothwendig, dass zuerst der äussere Fussrand an dem Boden festgehalten wird.

Im Allgemeinen also kann gesagt werden, dass die angegebenen Ursachen ein Vorsetzen des Beines gegen innen bedingen und dass dabei das »Auswärts-stellen« des Fusses dadurch zu Stande kommt, dass die Gegend der kleinen Zehe zuerst mit dem Boden in Berührung tritt und an diesem festgehalten wird, während das übrige Bein seine Bewegung fortsetzt. — Die Drehbewegung der Ferse um die am Boden fixirte Fussspitze ist nie schöner zu sehen, als bei dem mit einem gewissen Bewusstsein ausgeführten Tanzmeisterschritt, welcher eine karrikirende Schematisirung dieses Vorganges gibt.

Wenn demnach in dem gewöhnlichen Gange die Füsse mehr vor einander gesetzt werden, als sie im Stehen gegen einander gestellt sind, so geht daraus hervor, dass die Exkursionen der seitlichen Aequilibrirung und somit die seitlichen Schwankungen bei dem gewöhnlichen Gange sich wesentlich geringer herausstellen müssen, als man auf den ersten Blick erwarten sollte.

Es möchte nun scheinen und es wird auch vielfach so angesehen, dass die einzigen Aktionen, welche beim Gehen beobachtet werden, in den Beinen stattfinden, dennoch ist darauf aufmerksam zu machen, dass auch noch in anderen Theilen des Skeletmechanismus Aktionen zu beobachten sind, welche als wesentliche Ergänzungen zu dem Mechanismus des Gehens gehören.

Als minder wichtig seien hier nur in Kürze erwähnt die Pendelbewegungen der Arme. Indem jeder Arm nach rückwärts pendelt, wenn das Bein seiner Seite vorwärts gesetzt wird, — und vorwärts pendelt, wenn das Bein seiner Seite nach rückwärts gestellt bleibt, — wird durch diese Pendelbewegungen eine Aequilibrirung zwischen hinten und vornen gegeben, welche eine aufrechte Haltung des Körpers ohne zu bedeutende Schwankungen nach vorwärts und nach rückwärts leicht ermöglichen. Zugleich besitzt diese Schwingung der Arme eine entschiedene Analogie mit der Bewegung der vorderen Extremitäten bei den Quadrupeden, welche noch dadurch erhöht wird, dass das Vorschwingen jedes Armes auch dem Vorsetzen der hinteren Extremität der anderen Seite um eine kleine Zeitdauer vorangeht.

Grössere Bedeutung gewinnt eine, wenn auch gewöhnlich übersehene, doch sehr beträchtliche Thätigkeit in der Lendenwirbelsäule. Um deren Nothwendigkeit zu verstehen, muss man sich daran

erinnern, dass im Stehen das Maximum der Rückwärtsneigung des Beckens gegen das Femur erreicht ist, dass also eine weitere »Streckbewegung«, d. h. Hebung des Beines nach hinten, so weit dieses von Bewegungen in dem Hüftgelenke abhängig ist, nicht zu Stande gebracht werden kann. Soll ein Bein noch weiter nach hinten gehoben werden, als dieses im aufrechten Stehen der Fall ist, so kann solches nur dadurch ausgeführt werden, dass in dem Hüftgelenk der entgegengesetzten Seite eine Beugebewegung ausgeführt wird, während das Bein an dem Boden stehen bleibt. Indem nun das Becken durch diese Bewegung nach vornen hinuntergesenkt wird, sinkt mit ihm der Rumpf nach vornen hinab und das bewegliche Bein steigt nach hinten hinauf, — oder, um in einem einfachen Vergleich zu sprechen, der Rumpf und das eine Bein drehen sich als Ganzes um den Femurkopf des anderen feststehenden Beines, wie ein Wagbalken um seine Axe; — während der eine Theil hinunter geht, geht der andere Theil hinauf. Soll nun aber doch der Rumpf aufgerichtet erscheinen, so ist dieses nicht anders möglich, als dadurch, dass sein mittlerer und sein oberer Theil durch eine starke Einbiegung der Lendenwirbelsäule wieder gehoben werden. — Diese ganze Thätigkeit, welche so eben für richtigeres und leichteres Verständniss als in zwei getrennten Akten geschehend hingestellt wurde, kann auch in einem einzigen Akte ausgeführt werden. Eine kräftige Zusammenziehung des *m. sacrolumbalis,* welche den ganzen Rumpf in der Lendengegend gewissermassen zusammenfaltet, ist nämlich im Stande, den Brustkorb und damit den ganzen oberen Theil des Rumpfes nach hinten hinab zu ziehen und zugleich das Becken so nach hinten hinauf zu ziehen, dass das nicht auf dem Boden stehende Bein nach hinten gehoben wird[1].

Wenn nun in einer Schrittstellung das eine Bein (z. B. das linke) vornen und das andere (das rechte) hinten auf dem Boden aufsteht und der Rumpf aufrecht gehalten wird, so ist damit das oben beschriebene Verhältniss gegeben. Das rechte Bein und der obere Theil des Rumpfes sind in beschriebener Weise durch eine starke Lendeneinknickung einander genähert und das Becken ist in Beugestellung auf den Femurkopf des linken Beines gestützt. In Fortsetzung der Schrittbewegung muss jetzt dieses Verhältniss dahin geändert werden, dass das Becken gegen das linke Bein aufgerichtet (in Streckstellung gebracht) wird und sich, indem das linke Bein den vorderen Ergänzungsbogen beschreibt, auf den Femurkopf des unterdessen vorgesetzten rechten Beines anlehnt. Zwischen dem linken Beine und dem Rumpfe ist jetzt damit dasselbe Verhältniss hergestellt, wie vorher zwischen dem rechten Beine und dem

1) Vgl. II. 10, Fig. 14.

Rumpfe, oder vielmehr es ist die Stellung zwischen dem übrigen Rumpfe und dem Becken wieder dieselbe in der Lendengegend eingeknickte geworden, wie sie es vorher war, nur ist jetzt das linke Bein dadurch gehoben, während es vorher das rechte war. — Mit jedem Vorsetzen eines Beines oder vielmehr mit einem jeden Hintenbleiben eines (des anderen) Beines ist demnach eine kräftige Aktion des *m. sacrolumbalis* gegeben, welche im Interesse aufrechter Haltung die Lendengegend stark einknickt; und somit ist also die bezeichnete Muskelaktion ein integrirender Theil eines jeden einzelnen Schrittes.

Wie wichtig diese Aktion ist, geht aus der Art hervor, wie der Gang gehemmt und geändert wird, wenn z. B. wegen einer Lumbago der *m. sacrolumbalis* nicht funktioniren kann.

Ein mit Lumbago geplagtes Individuum kann sich nämlich nur in zweierlei Weise beim Gehen helfen; entweder nämlich muss es auf ein Rückwärtsstellen der Beine verzichten oder auf eine aufrechte Haltung des Rumpfes. Daher gibt es zwei für dieses Uebel charakteristische Formen des Ganges, und diese sind:

1) Rumpf und Becken bleiben aufrecht und die Beine werden für jeden Schritt nur wenig nach vornen geschoben; das hinten bleibende Bein bleibt in der senkrechten Richtung stehen;
2) Rumpf und Becken bleiben nach vornen geneigt; der Schritt wird etwas ausgiebiger und namentlich erhält auch das hinten bleibende Bein eine Stellung nach rückwärts, aber nie weiter als bis es in Streckstellung gegen das geneigte Becken gelangt ist.

2. Die Varietäten des Ganges.

Bei der grossen Menge von Hülfsmitteln, welche zur Erzeugung eines Ganges verwendet werden können, und bei der Möglichkeit, dieselben in verschiedenster Art zu kombiniren, so dass die mannichfaltigsten Gruppirungen derselben oder auch Mischformen entstehen können, ist es begreiflicher Weise unmöglich, einen Gang aufzustellen, der als typisch angesehen werden müsste. Nicht nur wird ein jedes Individuum je nach Laune oder Umständen in der Anwendungsweise der einzelnen Hülfsmittel wechseln und zu verschiedenen Zeiten in verschiedener Weise gehen; — sondern es werden auch bei einzelnen Individuen gewisse Formen der Kombinationen in den Hülfsmitteln habituell werden müssen und damit einem Jeden ein individueller Gang zukommen, wie eine individuelle Sprechweise und eine individuelle Handschrift.

Wie es aber möglich ist, wie in dem früheren Abschnitte geschehen, die einzelnen Elemente, aus welchen sich die Gangbewegungen zu-

sammensetzen müssen, hinzustellen, so ist es auch möglich die typischen Verschiedenheiten aufzustellen, welche für die einzelnen aus jenen Elementen gebildeten Gangarten massgebend werden.

In dieser Beziehung ist zuerst darauf aufmerksam zu machen, dass eine durchgreifende Verschiedenheit in den Gangarten sich darauf gründen muss, dass viele der oben aufgestellten Elemente entweder als sekundäre Bewegungen in Folge des Mechanismus der Gelenke sowie durch die Schwere etc. entstehen, oder auch durch darauf hinzielende Muskelaktionen unmittelbar hervorgebracht werden können. Je nachdem nun im Gang mehr jenen Kräften überlassen wird oder mehr Muskelkraft angewendet wird, müssen schon sehr verschiedene Formen des Ganges entstehen.

Eine zweite Ursache für verschiedene Gestaltung der Gangbewegung ist die verschiedene Schnelligkeit, in welcher die einzelnen elementaren Bewegungen ausgeführt oder an einander gereiht werden.

Die wichtigsten Verschiedenheiten der Art zu gehen gründen sich aber auf das gegenseitige Verhalten der einzelnen bogenförmigen Elemente, aus welchen die Fortbewegungslinie zusammengesetzt wird.

In dieser Beziehung ist zuerst das gegenseitige Verhalten des vertikalen und des horizontalen Bogens zu berücksichtigen, indem dieselben einzeln für sich oder mit einander vereinigt zur Anwendung kommen können. Die Bedeutung einer solchen Vereinigung wird verstanden, wenn man sich die Bedeutung der beiden Arten von Bogen vergegenwärtigt. In seiner schematischen Gestalt wird der horizontale Bogen so ausgeführt, dass das tragende Bein vertikal ruhig steht und die Schwere unterstützt, während das in dem anderen Hüftgelenke aufgehängte freie Bein durch eine horizontale Bewegung um eine in dem Femurkopfe des tragenden Beines senkrecht stehende Axe nach vornen geführt wird; — der vertikale Bogen dagegen wird durch Wirkung verschiedener Kräfte von dem Femurkopfe des tragenden Beines ausgeführt und dieser wird dadurch vorwärts befördert. — Wenn das tragende Bein z. B. das linke ist, so befördert also der horizontale Bogen die rechte Seite und der vertikale die linke Seite vorwärts. Dass die letztere Beförderungsweise die bei Weitem ausgiebigere ist, bedarf keines besonderen Beweises, sie ist deshalb auch die allgemein angewendete. Die ausschliessliche Anwendung des horizontalen Bogens ist dagegen sehr beschränkt und findet sich nur unter den aussergewöhnlichen Verhältnissen des Gehens mit Stelzen, mit einem hölzernen Beine, mit steifen Beinen, dann auch bei Hindernissen des freien Ausschreitens, z. B. bei schmerzhaften Geschwülsten im Skrotum etc., — und

in allen diesen Fällen ist derselbe doch nicht in voller Reinheit als einziges Beförderungsmittel zu beobachten.

Indessen findet der horizontale Bogen doch eine sehr wichtige und ausgedehnte Anwendung für Vergrösserung des Schrittes, wenn er nämlich um den Femurkopf des tragenden Beines ausgeführt wird, während dieses seinen vertikalen Bogen beschreibt. Diese Anwendung desselben findet sich schon als Element der gewöhnlichen Gangformen, tritt aber unter gewissen Verhältnissen stärker in die Erscheinung. — Im gewöhnlichen Gange erscheint sie dadurch, dass die Beckenseite des schwingenden Beines etwas mehr nach hinten geschoben, so lange dasselbe noch nicht vom Boden gelöst ist und dagegen etwas mehr nach vornen geschoben, wenn dasselbe vornen wieder aufgesetzt ist. Man kann sich von diesem Verhältnisse leicht überzeugen, wenn man ein Individuum eine Schrittstellung annehmen lässt und dann symmetrische Punkte der beiden Seiten mit Hülfe von Senkeln auf den Boden projicirt; man wird bei einer solchen Untersuchung fast mit Regelmässigkeit eine solche Schiefstellung des Beckens wahrnehmen, bei welcher die dem vorgegesetzten Beine entsprechende Seite weiter nach vornen gerückt ist als die entgegengesetzte Seite. Genauere Angaben über die in verschiedenen Beobachtungen dieser Art gefundenen Winkelwerthe dieser Schiefstellung sind natürlich ohne alles Interesse, indem die fragliche Erscheinung in ihrer Grösse jedesmal von der Individualität und von beliebigen Zufälligkeiten abhängig ist. Bei dem einen Individuum ist die Schiefstellung nur sehr wenig ausgesprochen, und bei dem anderen in hohem Grade; im Allgemeinen ist sie bei längeren Schritten auffallender, als bei kürzeren. — Wo der horizontale Bogen in ausgiebigerer Weise benutzt wird, erhält der ganze Gang etwas »Watschelndes«; wo dagegen der vertikale Bogen in grösserer oder vollständiger Ausschliesslichkeit angewendet wird, erhält der Gang etwas »Nickendes«.

Die angegebene Bedeutung und Folgen der Anwendung des horizontalen Bogens lassen nun auch leicht erkennen, unter welchen Verhältnissen demselben eine grössere Betheiligung an der Gangbewegung gewährt wird. Dieses ist nämlich der Fall, wenn entweder dem gewöhnlichen Schritt eine grössere Ausgiebigkeit gegeben werden, oder wenn eine gewöhnliche Schrittlänge erzielt werden soll, während die Ausführung des vertikalen Bogens erschwert ist, oder möglichst vermieden werden soll. Man findet deshalb eine starke Betheiligung des horizontalen Bogens bei solchen, welche im Gehen durch weites Ausschreiten sich möglichst rasch vorwärts fördern wollen, — bei solchen, welche aus irgend einem Grunde »ungelenkig« in den Beinen sind, — bei solchen, welche Lasten zu tragen haben, wobei die mit dem vertikalen Bogen verbundene Hebung erschwert ist, — bei sehr fettleibigen Individuen,

welche einerseits »ungelenkiger« in den Beinen sind und andererseits durch ihre Körpermasse belastet sind, — bei solchen, welche Gegenstände tragen, welche vertikale Schwankungen nicht vertragen, z. B. mit Flüssigkeiten gefüllte offene Gefässe etc. — und ferner findet man noch eine starke Betheiligung des horizontalen Bogens ohne eine Nöthigung dieser Art nur für den Zweck einen affektirten Gang zu erzielen, welcher durch grosse und langsame Schritte und durch ein gewisses Schweben pathetisch sein will.

Die Theile des vertikalen Bogens für sich können aber auch in sehr verschiedenen Beziehungen zu einander stehen; und dadurch kann eine grosse Mannichfaltigkeit von Gangarten hervorgebracht werden.

Hier ist zuerst darauf aufmerksam zu machen, dass ein jeder der drei oben aufgestellten Theile des vertikalen Bogens fehlen kann, und dass sogar ein jeder für sich allein im Stande ist, einen Gang zu Stande zu bringen.

Der Hauptbogen, der Centraltheil der ganzen Bewegung, kann für sich allein einen Gang zu Stande bringen, wenn die Ferse des vorgesetzten Fusses unmittelbar vor die Spitze des tragenden Fusses gesetzt wird, oder auch, der in dem Früheren aufgestellten Begründung des Hauptbogens entsprechend, neben das Metatarsusköpfchen der grossen Zehe dieses Fusses. Man kann diese Art zu gehen den stampfenden Gang nennen. In demselben kann, wenn der Hauptbogen über dem einen Fusse vollendet ist, sogleich der Hauptbogen über dem anderen Fusse beginnen, und die ganze Fortbewegung geschieht nur durch Aneinanderreihung von Hauptbogen. Es ist der Gang, welcher ausgeführt wird, um die Länge einer Linie am Boden durch die Einheit der Fusslänge zu messen. Als wirklicher Gang für den Zweck der Fortbewegung findet sich diese Art zu gehen nur bei senilen oder sonst kraftlosen Individuen.

Andererseits kann aber auch der Hauptbogen gänzlich wegfallen und die Fortbewegung geschieht dann nur durch die Ergänzungsbogen. Dieses ist der Fall bei dem Zehengang. In diesem befinden sich beide Füsse in Streckung und tragen den Körper nur auf den Metatarsusköpfchen. Im Schema kann hier ein Hauptbogen nicht vorhanden sein, denn sobald der Schwerpunkt in die Lage über das Metatarsusköpfchen der grossen Zehe gebracht und dadurch unterstützt ist, muss er bei der geringsten Vorwärtsbewegung sogleich den vorderen Ergänzungsbogen beschreiben. In der Wirklichkeit verhält sich die Sache indessen nicht ganz so, und es findet sich allerdings ein, wenn auch sehr kurzer, Hauptbogen vor; denn die Stellung auf den Zehen kann in zweierlei Weise

ausgeführt werden, und in beiden Arten ist die Unterstützungsfläche auf dem Boden doch immer von einer gewissen Grösse, namentlich auch von einer gewissen Ausdehnung in der Richtung von hinten nach vornen, so dass dadurch das oben gegebene schroffe Schema gemildert und die Möglichkeit eines kleinen Hauptbogens gewährt wird.

Die eine Art des Stehens auf den Zehen kommt dadurch zu Stande, dass die Erhebung nur auf die grosse Zehe geschieht. Der Metatarsusknochen derselben liegt dann in der Ansicht von vornen in der fortgesetzten Richtung der Tibia und die Metatarsusknochen der übrigen Zehen stehen in einer nach rückwärts weichenden Linie mit ihren Köpfchen an dem Boden. Alle Zehen sind durch den Gegendruck des Bodens in extremer Dorsalflexion fixirt. Die Gesammtheit der Zehen bildet dann einen Rhombus, dessen eine kurze Seite die grosse Zehe ist, während die kleine Zehe die andere kurze Seite darstellt. Stehen beide Füsse in dieser Stellung neben einander, so sind beide grosse Zehen unter einander parallel. — Wird bei dieser Form der Stellung auf den Zehen, die Schwerlinie in der Richtung des Metatarsusknochens der grossen Zehe nach vornen geführt, so wird allerdings Unterstützung des Körpers erst gegeben sein, wenn dieselbe (die Schwerlinie) in den Mittelpunkt des Köpfchens dieses Knochens fällt; — aber wenn sie diesen Punkt in der Richtung nach vornen überschreitet, so wird darum noch nicht die Fallbewegung nach vornen eintreten müssen; die grosse Zehe in ihrer dorsalen Fixirung ist ja ihrer ganzen Länge nach geeignet, die Schwere des Körpers zu unterstützen und erst, wenn die Schwerlinie vor die Spitze der grossen Zehe fällt, muss die Fallbewegung eintreten. — Bei einem Zehengang mit dieser Feststellung muss also in Wirklichkeit ein H a u p t b o g e n vorhanden sein, dessen Sehne die L ä n g e d e r g r o s s e n Z e h e besitzt.

Bei der zweiten Art von Stellung auf den Zehen ist der Fuss nach einwärts gestellt, so dass, wenn beide Füsse so gestellt neben einander stehen, beide grosse Zehen nach innen konvergiren und alle 10 Metatarsusköpfchen in derselben geraden Linie liegen. Auch hier sind alle Zehen in extremer Dorsalflexion festgestellt und dadurch als Gesammtheit geeignet, die Schwere des Körpers zu unterstützen. Es muss also auch hier ein k l e i n e r H a u p t b o g e n gegeben sein, durch welchen der Schwerpunkt über die Zehen nach vornen geführt wird.

Mag nun auch in Wirklichkeit bei dem Gang auf den Zehen ein kleiner Hauptbogen über den Zehen selbst ausgeführt werden, so ist der Z e h e n g a n g doch im Schema dadurch charakterisirt, dass ihm der Hauptbogen fehlt und in so fern steht er als eine typische Grundform des Ganges dem S o h l e n g a n g gegenüber, bei welchem die Grundlage der Fortbewegung, eventuell sogar das einzige Hülfsmittel derselben, ein

Hauptbogen ist, durch welchen der Schwerpunkt über das Fussgewölbe hingeführt wird.

Beide Grundformen können dann wieder Unterarten zeigen, welche bestimmt werden durch das Verhalten der Ergänzungsbogen. Sind beide Ergänzungsbogen vorhanden, so sind damit die Unterarten des gewöhnlichen Sohlenganges und des gewöhnlichen Zehenganges gegeben.

Der vordere Ergänzungsbogen kann für beide Grundformen wegfallen, wenn auf dem tragenden Beine die Unterstützung der Schwere so lange festgehalten wird, bis der vorgesetzte Fuss den Boden berührt hat. Eine Fallbewegung um den Mittelpunkt des Metatarsusköpfchens der grossen Zehe kann dann nicht stattfinden, weil der Schwerpunkt nie seine Unterstützung verliert. Dadurch entstehen die beiden Unterarten: schleichender Sohlengang, gebildet durch hinteren Ergänzungsbogen und Hauptbogen und schleichender Zehengang, gebildet nur durch den hinteren Ergänzungsbogen.

In gleicher Weise kann auch der hintere Ergänzungsbogen wegfallen, wenn die Fallbewegung des vorderen Ergänzungsbogens so eingerichtet wird, dass die Schwerlinie sogleich in den vorgesetzten Fuss fällt und somit ein Nachschieben durch einen hinteren Ergänzungsbogen nicht nothwendig wird. Durch dieses Verhältniss entstehen die Unterarten: Sohlen-Eilgang, gebildet durch vorderen Ergänzungsbogen und Hauptbogen, und Zehen-Eilgang, gebildet nur durch den vorderen Ergänzungsbogen.

In dem gewöhnlichen Gange entstehen aber auch wieder Unterschiede durch das gegenseitige Grössenverhältniss des Hauptbogens und beider Ergänzungsbogen zusammengenommen und dann durch das gegenseitige Grössenverhältniss der Ergänzungsbogen unter sich.

Derjenige Abschnitt der Fortbewegungslinie, welcher durch den Hauptbogen gebildet wird, ist eine bestimmte, für dasselbe Individuum stets gleichbleibende Grösse, denn er hat genau die Länge des Fussgewölbes; — der durch die Ergänzungsbogen gebildete Abschnitt dagegen ist eine, auch für dasselbe Individuum, wechselnde Grösse und kann unter Umständen sogar, wie schon oben gesehen, gänzlich wegfallen. Der Abschnitt der Ergänzungsbogen kann im Verhältniss zu dem Hauptbogen gross sein oder klein oder von mittlerer Grösse und dadurch entstehen die Varietäten des gewöhnlichen Ganges mit langem Schritt, mit kurzem Schritt und mit mittlerem Schritt. — Zu genauerer Präcisirung dieser drei Bezeichnungen wäre es nun allerdings wünschenswerth, dass es möglich wäre, auf bestimmte in dem Beinmechanismus liegende Gründe hin eine typische Länge des Schrittes aufzustellen. Da dieses aber nicht möglich ist, so ist man

genöthigt, um wenigstens einen gewissen Anhaltspunkt zu haben, eine typische mittlere Schrittlänge willkürlich oder auf Grund der Empirie zu setzen. In meinem Aufsatze über die Individualitäten des aufrechten Ganges[1] habe ich, um mit einfachen Zahlen leichter operiren zu können, als Norm für den mittleren Schritt willkürlich aufgestellt, dass der Hauptbogenabschnitt und der Ergänzungsbogen-Abschnitt von gleicher Länge sein sollen. An dem gleichen Orte hatte ich aber auch bereits anzuerkennen, dass der gewöhnliche mittlere Schritt grösser zu sein pflege. Durch wiederholte Messungen und Beobachtungen finde ich denn auch, dass die alte Römische Bestimmung der Schrittlänge, wenn sie auch eher zu gross ist, für die Mehrzahl der Individuen den mittleren Schritt richtiger bestimmt, als die oben aufgestellte etwas zu kleine Norm; diese Römische Bestimmung stellt als Norm für den Schritt (*passus*) fünf Fusslängen auf. Unter *passus* ist aber die ganze Exkursion desselben Beines, also nach unserer geläufigen Auffassung zwei Schritte zu verstehen. Misst man nun die Länge eines solchen *passus* von der Spitze der hinteren Fussspur bis zu der Spitze der vorderen Fussspur, so fallen in diese Länge zwei Fusslängen (eine des die Messung bestimmenden und eine des anderen Beines) und zwei Zwischenräume; diese beiden zusammen haben also drei Fusslängen und der einzelne Zwischenraum zwischen je zwei Fussspuren somit $1\frac{1}{2}$ Fusslängen. Der Zwischenraum zwischen je zwei Fussspuren bezeichnet aber gerade die Grösse des Abschnittes der Ergänzungsbogen. Wenn nun die Römische Bestimmung für diese Grösse auf $1\frac{1}{2}$ Fusslängen eher zu gross und die oben willkürlich aufgestellte auf 1 Fuss Länge eher zu klein ist, so trifft man sicher für die bei weitem grösste Zahl der Individuen mit gesunden Gehwerkzeugen das Richtige, wenn man für den mittleren Schritt eine Länge des Ergänzungsbogen-Abschnittes von $1-1\frac{1}{2}$ Fusslängen als typisch aufstellt.

Anmerkung: Ohne Mühe lassen sich die oben aufgestellten Begriffe der verschiedenen Schrittlänge auch auf den schleichenden Gang und den Eilgang anwenden, wenn auch in diesen nur einer der Ergänzungsbogen gefunden wird. — Nun fällt bei dem Zehengang in seinen drei Unterarten der Hauptbogen als Grundmass weg, und wenn man die aufgestellten Begriffe auch für diesen anwenden will, so ist man genöthigt, statt des Hauptbogens die Fusslänge als Grundmass anzunehmen.

Mag nun aber der Schritt bei Sohlengang oder bei Zehengang ein langer, ein kurzer oder ein mittlerer sein, so kann er doch noch Verschiedenheiten in seinem Charakter zeigen, je nach dem Verhältniss, in welchem die Grössen der beiden Ergänzungsbogen zu einander stehen. Ist die Grösse beider eine gleiche, so dass also die Grenze

1) I. 4.

zwischen ihnen in die Mitte des Ergänzungsbogen-Abschnittes fällt, so ist der Schritt ein ruhiger Schritt. — Ist dagegen der vordere Ergänzungsbogen grösser als der hintere, so wird die einzelne Schrittbewegung schneller, weil die Fallbewegung schneller ausgeführt wird, als das Nachschieben; damit ist denn der flüchtige Schritt gegeben; und der Schritt hat um so mehr diesen Charakter, je mehr der hintere Ergänzungsbogen gegen den vorderen an Grösse zurücktritt; durch gänzliches Verschwinden desselben entsteht dann der früher schon besprochene Eilgang. — Ist aber der hintere Ergänzungsbogen grösser als der vordere, so entsteht dadurch der träge Schritt und dieser geht durch gänzliches Verschwinden des vorderen Ergänzungsbogens in den schleichenden Gang über.

Diejenige Modifikation des Ganges, welche als »Lauf« bezeichnet wird, ist nur eine Veränderung des Eilganges, und zwar sowohl des Sohlen-Eilganges als auch des Zehen-Eilganges; und diese Veränderung wird herbeigeführt durch eine Vergrösserung des vorderen Ergänzungsbogens mit Hülfe einer Sprungbewegung.

Die Sprungbewegung besteht in einer schnellen, möglichst kräftigen Streckung des Fussgelenkes oder des Fussgelenkes und des Kniegelenkes, in deren Folge der ganze Körper durch den Rückstoss des Bodens hinaufgeworfen wird. Wird diese Bewegung ausgeführt, während der Schwerpunkt über dem Metatarsusköpfchen der grossen Zehe steht, so wird der Körper einfach nach oben geworfen und fällt wieder gerade herunter. Wird sie aber ausgeführt, nachdem die Fallbewegung schon begonnen hat, so entsteht eine mehr nach vornen gewendete Sprungrichtung. — Die Richtung nach vornen muss der Sprung aber auch erhalten, wenn eine Sprungbewegung nach oben ausgeführt wird, während der Körper durch die *vis inertiae* in Folge des »Anlaufes« nach vornen getrieben wird. Die Sprungrichtung wird dann als Resultirende dieser beiden Bewegungen eine schräg nach vornen aufsteigende.

Wenn eine Sprungbewegung dieser Art dem Körper durch das tragende Bein mitgetheilt wird, während das freie Bein nach vornen schwingt, so wird das Aufsetzen des letzteren erst dann zu Stande kommen, wenn der Körper am Ende des Sprunges wieder herabfällt, und in der Zwischenzeit sind beide Beine ausser Berührung mit dem Boden.

Fällt bei diesem Aufsetzen die Schwerlinie in die Ferse des aufgesetzten Fusses, so wird erst noch ein Hauptbogen ausgeführt, ehe eine neue Sprungbewegung zu Stande kommt. Durch diesen Umstand ist der ruhigere Sohlen-Lauf (Dauerlauf) charakterisirt.

Wird aber der Fuss gestreckt aufgesetzt, so dass die Schwerlinie sogleich in die Fussspitze fällt, dann kann eine Sprungbewegung sich unmittelbar an die andere reihen, und damit ist die schnellste Form des Laufes, der Zehenlauf gegeben.

Eine Zwischenform zwischen beiden ist dann gegeben, wenn die Schwerlinie in irgend einen Punkt der Länge der Sohle des aufgesetzten Fusses fällt. Je weiter nach vornen dieses der Fall ist, um so mehr muss sich die Zwischenform dem Zehenlauf nähern, und je weiter nach hinten, um so mehr dem Sohlenlaufe.

3. Die gebräuchliche Art des Ganges.

Nachdem in den bisherigen Untersuchungen die einzelnen Elemente aufgestellt worden sind, welche in die Bildung einer Gangbewegung eingehen können und nachdem sodann die Hauptvarietäten entwickelt worden sind, welche durch verschiedene Gruppirung einzelner solcher Elemente entstehen, — ist es erst möglich die Frage zu stellen, welche Gestaltung der Gangbewegung es ist, die als die natürlichste und leichteste die allgemeinste Verbreitung besitzt, unbeschadet natürlich individueller Modifikationen.

In dem Aufsatze I. 11 »Ueber die Kniebeugung in dem abstossenden Beine und über die Pendelung des schwingenden Beines im gewöhnlichen Gange« habe ich mich bemüht, diese verbreitetste Gestaltung der Gangbewegung zu entwerfen und zu motiviren. — Es kann meine Absicht nicht sein, die ganze dort gegebene Entwickelung hier zu reproduciren, und ich beschränke mich daher darauf, die Grundzüge derselben hier wiederzugeben, für die weitere Ausführung auf jene Abhandlung verweisend.

In dem Früheren ist gezeigt worden, dass das Becken in extremer Streckstellung mit dem Femur des hinteren (abstossenden) Beines vereinigt ist und deswegen eine nach vornen geneigte Lage besitzen muss, so lange dieses Bein noch mit dem Boden in Berührung steht. — Es ist ferner gezeigt worden, dass die Folge dieses Verhältnisses eine Einknickung der Lendenwirbelsäule durch kräftige Aktion des *m. sacrolumbalis* ist, welche den Zweck hat, den Rumpf für die Zeit der Dauer dieser Beckenstellung aufrecht gerichtet zu halten. — In jedem Schritte muss also in dem Augenblicke, wo ein Bein durch die Fallbewegung des vorderen Ergänzungsbogens nach hinten gestellt wird, diese aufrichtende Thätigkeit des *m. sacrolumbalis* eintreten, und dieselbe muss um so stärker sein, in je schrägerer Neigung das hinten bleibende Bein gestellt ist, und bei einem Schritte mittlerer Länge ist schon, wenn das hintere Bein in dieser Stellung im Knie gestreckt ist, das Maximum der Einwirkung

des *m. sacrolumbalis* auf die Lendenwirbelsäule kaum genügend, die entsprechende Korrektion in der Haltung des Rumpfes herbeizuführen.

Natürlich ist es nicht das ganze Bein, dessen Neigung für diese Verhältnisse massgebend ist, sondern nur die Neigung des Femur; wenn also eine Gangart gefunden werden kann, in welcher das Bein als Ganzes die entsprechende Bewegung in genügender Weise ausführt, ohne dass das Femur in eine starke Neigung kommt, so wird diese den Vortheil haben, dass dabei die Aktion des *m. sacrolumbalis* möglichst geschont wird und damit die Gangbewegung überhaupt minder anstrengend ist.

Um die Möglichkeit, dass dieses der Fall sein kann, einzusehen, denke man sich einen Gang, bei welchem die beiden Femora unbeweglich neben einander liegend keine Veränderung ihrer Neigung erfahren. Ein solcher Gang wird bei Individuen mit unbeweglichen Hüftgelenken beobachtet, kann aber auch von einem Jeden ausgeführt werden, wenn man versucht, mit aneinandergedrückten Knieen zu gehen; in unvollkommener Ausbildung wird er auch wohl als eine Art von »zimperlichem« Gange beobachtet.

Bei einem solchen Gange bleiben der Rumpf und die beiden Beine als ein in sich unveränderliches Ganze in Ruhe und die Aktion für den Zweck der Fortbewegung findet nur in den Unterschenkeln und den Füssen statt. Es wird nämlich der Fuss mit oder ohne Streckung des Fussgelenkes auf die Zehen erhoben und in dem Verhältnisse, wie dadurch das vordere Ende der Tibia nach vornen geführt wird, muss der Unterschenkel durch Kniebeugung sich gegen den aufrecht bleibenden Oberschenkel abknicken. Ist dann durch diese Bewegung die Schwerlinie über das Metatarsusköpfchen der grossen Zehe nach vornen geführt, so findet unter stärkerer Kniebeugung die Fallbewegung statt, während der andere Fuss durch Kniestreckung nach vornen gesetzt wird, um den Fall zu unterbrechen. — Die Erhebung des tragenden Fusses auf die Zehen ist dabei die Hauptsache; die gleichzeitige Streckung des Fussgelenkes gibt nur durch Erhebung der Kniee Gelegenheit für leichteres Vorsetzen des anderen Fusses; dass dieses der Fall ist, ist daran zu sehen, dass ein solcher Gang auch ohne Streckung in dem Fussgelenke und sogar mit Beugung in demselben möglich ist.

Gezwungen und unnatürlich, wie diese Gangart auch ist, zeigt sie doch, dass es möglich ist, sich mit Hülfe der Beine vorwärts zu bewegen, ohne den Neigungswinkel des Femur gegen den Boden zu ändern und somit eine Thätigkeit des *m. sacrolumbalis* für Aufrichtung des Rumpfes in Anspruch zu nehmen.

Der gebräuchliche Gang entsteht nun auf die Weise, dass das soeben beschriebene Element in die Gangbewegung aufgenommen wird und dass das zurückbleibende Bein deshalb nicht in allen Theilen gestreckt ist,

sondern eine Kniebeugung zeigt und in dem auf die Zehen erhobenen Fusse eine mehr oder weniger bemerkbare Streckung des Fussgelenkes, in dem »knickbeinigen« Gange sogar eine Beugung des Fussgelenkes. Schwingt dieses Bein dann nach vornen, so behält es die Kniebeugung und wird mit dieser auf den Boden gesetzt. Wenn es dann die Belastung durch die Schwere aufgenommen hat und es findet die Aufrichtung des Beckens auf demselben statt, so tritt, während der Ausführung des Hauptbogens vorübergehend als sekundäre Wirkung der Strecker des Hüftgelenkes eine vorübergehende Streckung des Kniees auf, welche den Rumpf so viel erhebt, dass das Vorwärtsschwingen des freien Beines dadurch mehr Spielraum gewinnt.

Die gebräuchliche Art des Ganges ist also dadurch charakterisirt, dass zur Schonung der Aktion des *m. sacrolumbalis* die Bewegung der Beine so eingerichtet wird, dass die Neigung des Femur in dem hinten bleibenden Beine niemals eine zu starke wird; für welchen Zweck in dem bezeichneten Beine eine Abknickung in dem Kniee auftritt.

Wie oben bereits bemerkt, ist für die genauere Ausführung dieser Sätze auf oben angeführte Abhandlung zu verweisen, und in dieser ist zugleich weiter gezeigt, wie die Anordnung der Muskeln des Beines in vollständiger Uebereinstimmung mit dieser Art der Verwendung des Beines für den Gang sich befindet; so dass also auch von dieser Seite eine Motivirung der gebräuchlichen Art zu gehen gegeben ist.

Es ist jedoch nicht zu übersehen, dass in einem kräftigen und energischen Gange weniger, in einem schlaffen und schwächlichen Gange dagegen mehr von dem beschriebenen Bequemlichkeitselement enthalten ist.

Die untere Extremität.

Die untere Extremität des Menschen ist zwar im Allgemeinen der oberen Extremität desselben durchaus analog gebaut, indem sie aus denselben Hauptstücken, wie diese, zusammengesetzt ist; aber sie zeigt doch derselben gegenüber so durchgreifende und principielle Verschiedenheiten in Bau und Anordnung der einzelnen Bestandtheile, dass jene Analogie dadurch auf das bescheidene Mass der morphologischen Gleichdeutigkeit der einzelnen konstituirenden Elemente zurückgeführt wird, und selbst hierin fehlt es an der nöthigen Klarheit, wie der Umstand beweist, dass die Kontroverse darüber, ob die Tibia dem Radius oder der Ulna analog sei, immer wieder von Neuem aufgenommen wird.

Dieser durchgreifende Unterschied zwischen den beiden Extremitäten steht im engsten Zusammenhange mit deren Verwendung. In dem Früheren wurde gezeigt, wie die obere Extremität als greifende organisirt ist, und nur gelegentlich als lokomotorische verwendet wird. Ihre Charakteristik in dieser Richtung ist gegeben durch ihre Leichtigkeit und ihren feingliederigen Bau im Allgemeinen und im Besonderen durch die Beweglichkeit des Schultergürtels, durch die freie Rotationsmöglichkeit des Radius und durch die beträchtliche Länge der Finger gegenüber der sehr unbedeutenden Handwurzel. — Die untere Extremität ist dagegen als stützende und damit auch vorzugsweise lokomotorische charakterisirt durch die Unbeweglichkeit ihres Extremitätengürtels, durch den Gewölbebau des Fusses, an welchem die Fusswurzel einen sehr wesentlichen Antheil nimmt, und durch die Gestaltung der Tibia; dazu kommt der massige und kräftige Bau der einzelnen Knochen und die Dicke der Gelenkenden.

Der unbewegliche mit der Wirbelsäule fest verbundene Beckengürtel ist im Stande, eine jede ihm durch die Beine mitgetheilte Bewegung ungeschwächt auf die Wirbelsäule zu übertragen und dadurch zu einer lokomotorischen werden zu lassen.

Der starke **Gewölbebau des Fusses** ist im Stande, die Schwerelast des ganzen Körpers sicher zu tragen; und die Gestalt der **Tibia** ist der Art, dass sie, mit einer breiten Fläche dem Femur anliegend, und durch eine breite Fläche mit dem Fussgewölbe verbunden, die Schwerelast von dem Femur direkt auf das Fussgewölbe übertragen kann; — während an dem Unterarme ein Knochen die Verbindung mit dem Oberarme, ein anderer dagegen diejenige mit der Hand vermittelt, und hierdurch gerade die grosse Beweglichkeit der Hand als eines Ganzen ermöglicht ist.

Nicht weniger als in den Knochen ist auch in den **Muskeln** eine charakteristische Verschiedenheit zwischen den beiden Extremitäten wahrzunehmen. Dass an der unteren Extremität Analoga der Beweger des Schultergürtels nicht vorhanden sind, ergibt sich aus der Feststellung des Beckengürtels von selbst; aber auch in der vorhandenen Muskulatur finden sich sehr bezeichnende Unterschiede. Vor Allem ist die Muskulatur des Unterschenkels durch eine geringere Zahl von Muskeln von derjenigen des Unterarmes ausgezeichnet, ein Verhältniss, welches sich ohne Schwierigkeit daraus erklärt, dass dem Unterschenkel die innere Gliederung fehlt, welche den Unterarm so sehr vor ihm auszeichnet; — und im Allgemeinen ist in der Muskulatur des Beines eine Anordnung zu erkennen, welche darauf hinweist, dass für die Verrichtung einer nicht unbeträchtlichen Anzahl der Beinmuskeln das Verhältniss als das Regelmässige anzusehen ist, dass das *punctum fixum* ferner und das *punctum mobile* näher dem Rumpfe sich befindet.

In früheren Abschnitten sind schon die Beziehungen des ganzen Beines zu der Mechanik des Stehens und des Ganges besprochen; es ist demnach für das Folgende nur noch die Aufgabe gegeben, die Mechanik des Hüftgelenkes, des Kniegelenkes und des Fusses zu untersuchen.

1. Das Hüftgelenk.

Das Hüftgelenk ist, wie das ihm analoge Schultergelenk, ein freies Gelenk und soll nach dem für ein solches Gelenk bestehenden Schema durch eine kugelförmige Gelenkfläche gebildet werden. — Allerdings passt nun zwar auf das Hüftgelenk Alles, was man von einem Kugelgelenk in Bezug auf dessen Mechanik sagen kann, und insofern kann man diese Schematisirung desselben ohne Weiteres annehmen und zur Grundlage seiner genaueren Untersuchung machen, indessen stellt es sich doch bei durchgeführterer Prüfung heraus, dass die Gestalt des Oberschenkelkopfes **nicht kugelig** ist, sondern Abweichungen von der Kugelgestalt zeigt, welche interessante Hinweise auf die Ursachen

geben, welche die Entstehung der besonderen Gestalt der Gelenkflächen veranlassen.

A. Die Axen des Hüftgelenkes.

Für die Untersuchung der möglichen Bewegungen in dem Hüftgelenke und deren Erscheinungsweise in der Bewegung des Beines sei für's Erste die schematische Auffassung der Kugelgestalt des Femurkopfes zu Grunde gelegt.

Versucht man dieses durchzuführen, so kommt man in eine ähnliche Verlegenheit, wie bei dem Schultergelenke, indem man die von der Mechanik verlangte Aufstellung der drei typischen Axen in zweierlei Weise ausführen kann. — Man kann dieselben nämlich als im Raum absolut feststehend hinstellen und danach eine solche annehmen, welche senkrecht gegen den Boden gerichtet ist und zwei andere, welche dem Boden parallel, also horizontal liegen; — oder man kann die drei Axen in den Femurkopf so legen, dass sie in diesem festliegend gedacht sind und mit demselben sich bewegen, also ihre Lage im Raum beständig ändern können.

Da es bei der Untersuchung der Bewegungen im Hüftgelenk hauptsächlich darauf ankommt, die durch dieselben hervorgebrachten Lagen- und Stellungsveränderungen des Beines dem Rumpfe gegenüber kennen zu lernen, und da der Rumpf selbst eine wechselnde Lage haben kann, so ist es am Geeignetsten, die zweite Methode zu wählen und die Axen fest in den Femurkopf zu legen, wobei man indessen angemessener Weise die Rücksicht nimmt, sie so zu legen, dass die absoluten Bezeichnungen (vertikal, horizontal) in der aufrechten Stellung unmittelbar auf sie anwendbar sind. — Es ist hierbei die genügende Genauigkeit gegeben, wenn man die Schieflage in der Richtung von vornen nach hinten, welche das Femur im Stehen einnimmt, ausser Acht lässt und ebenso die Abknickung des Trochanter nach hinten vorläufig nicht berücksichtigt.

Vernachlässigt man diese beiden Punkte, so ist das Femur anzusehen als zusammengesetzt aus den beiden bekannten Theilen, Körper und Hals, welche in einem Winkel (Trochanter) zusammenstossend in derselben Ebene gelegen sind, welche man die Femurebene nennen kann. Diese Ebene stellt man senkrecht und kann dann in derselben zwei Axen legen, nämlich eine vertikale und eine horizontale; die Abduktionslage des Femur sei dabei so gewählt, dass die vertikale Axe aus dem Mittelpunkte des Femurkopfes in die *fossa intercondylica* fällt; da um diese Axe, welche zugleich die Längsaxe des ganzen Oberschenkels (mit den Weichtheilen) ist, die Rotation des Oberschenkels und somit des ganzen gestreckten Beines geschieht, so heisse dieselbe: Rotations-

axe. Die in der Femurebene liegende Horizontalaxe liegt in einer Querebene des Körpers und um sie geschieht diejenige Bewegung, durch welche der Oberschenkel und somit das ganze Bein nach vornen gehoben (flektirt) wird; sie heisse deshalb: Flexionsaxe. — Die dritte Axe (zweite Horizontalaxe) steht senkrecht zu der Femurebene und daher parallel der Mittelebene des Körpers; um sie geschehen die Abduktions- und Adduktionsbewegungen, und aus diesem Grunde heisse sie: Abduktionsaxe.

Ein besonderes Interesse gewährt es, das Verhalten der Bewegungen um diese Axen in Bezug auf den Femurkopf und auf den Oberschenkel zu vergleichen und zu finden, wie verschieden sie sich hier äussern. — Für den Zweck dieses Vergleiches sei der Punkt, an welchem die Flexionsaxe die innere Oberfläche des Femurkopfes durchschneidet, als Mittelpunkt der Gelenkfläche desselben bezeichnet. — Bei einer Bewegung um die Flexionsaxe bleibt dieser Mittelpunkt mit dem gegenüberliegenden Mittelpunkte der Pfanne in beständiger Berührung und ein beliebiger Punkt der Oberfläche des Femurkopfes beschreibt in der Bewegung einen Kreis um diesen Mittelpunkt. Die Bewegung um die Flexionsaxe ist demnach in dem Gelenke eine Rotationsbewegung, während sie sich in dem ganzen Bein als Flexionsbewegung äussert. — Bei einer jeden Bewegung um die oben aufgestellte Abduktionsaxe und Rotationsaxe muss sich der Mittelpunkt der Gelenkfläche des Femurkopfes in der Pfanne in einer Linie bewegen, welche radial zu dem oben bezeichneten Mittelpunkte der Pfanne steht. Alle Bewegungen um diese beiden Axen sind daher in dem Gelenke radiale Bewegungen. Der Begriff der Rotation in dem Gelenk fällt daher nicht mit dem Begriff der Rotation in dem Beine zusammen. Folgende Uebersicht lässt diese Verhältnisse leichter überblicken; sie wird noch erläuternder, wenn in dieselbe zugleich die Bewegung des Trochanter aufgenommen wird, den man sich für diesen Zweck als in der Flexionsaxe gelegen denken kann.

Bewegung um die	im Gelenk	im Trochanter	im Oberschenkel
Rotationsaxe	radial	nach vornen oder hinten	Rotation
Flexionsaxe	Rotation	ruhend	Flexion oder Extension
Abduktionsaxe	radial	nach oben oder unten	Abduktion oder Adduktion.

Dieses Verhältniss gewährt darum ein besonderes Interesse, weil es den grossen Vortheil erkennen lässt, welchen die Einwärtsstellung des

Femurkopfes für die Gehbewegungen haben muss. Diese sind ja vorherrschend Flexions- und Extensionsbewegungen, welche mit viel Kraftaufwand und bei starker Belastung ausgeführt werden, und es muss für ihre Sicherung von der grössten Bedeutung sein, dass sie gerade in dem Gelenke die sicherste Art der Bewegung, die rotatorische nämlich, zur Grundlage haben.

Da nun die Gehbewegung diejenige Bewegung ist, welche am Häufigsten und fast mit einer gewissen Ausschliesslichkeit in dem Hüftgelenke ausgeführt wird, so darf es auch nicht Wunder nehmen, diese auf die Gestalt des Femurkopfes einen gewissen Einfluss gewinnen zu sehen, und dieses führt wieder zu der oben fallengelassenen Frage nach der kugeligen Gestalt des Femurkopfes.

B. Die Gestalt des Femurkopfes.

Die Pfanne besitzt bekanntlich nicht eine halbkugelige Gelenkfläche, sondern nur eine solche, welche als Kugelzone bezeichnet werden muss, — und diese nimmt nicht einmal die ganze Peripherie der Pfanne ein, sondern nur etwas mehr als drei Viertel derselben. Es ist die als *superficies semilunaris acetabuli* benannte Fläche. Der übrige Theil der Oberfläche der Pfanne wird durch die *fovea acetabuli* eingenommen, deren Fortsetzung nach unten die Peripherie des Pfannenrandes als *incisura acetabuli* unterbricht. Als Surrogat für den zu der Halbkugel fehlenden Theil der Gelenkfläche der Pfanne dient die Ergänzung des Randes durch das *ligamentum transversum acetabuli*, und das Fettpolster in der *fovea acetabuli*. — Besonders zu beachten ist, dass jene unvollständige Kugelzone, die *superficies semilunaris*, den Femurkopf oben, vornen und hinten berührt. — Bei Bewegungen des Femurkopfes um die Flexionsaxe muss demnach diese Kugelzone sich nahezu verhalten, wie die Hohlrolle eines Ginglymus und beim Gehen sowohl als beim Stehen muss sie den stärksten Druck auf den Femurkopf ausüben.

Anmerkung: Besonders belehrend über das Vorherrschen der Bewegung um die Flexionsaxe bei der Gehbewegung ist die Veränderung, welche man in Fällen von sogen. *malum coxae senile* an dem Femurkopfe wahrnimmt. Die Abschleifung beginnt hier an denjenigen Stellen des Kopfes, welche mit der *superficies semilunaris* in Berührung stehen, selbstverständlich also zuerst an der oberen und dann an der vorderen Seite; diese beiden Seiten des Kopfes sind es ja, welche den meisten Druck auszuhalten haben. An der inneren Seite um die *fovea pro ligamento terete* herum bilden sich unterdessen ungestört Osteophyten durch Wachsthum und Verknöcherung des Gelenkknorpels[1]. In den höchsten Graden der Abschleifung bildet sich

[1] Vgl. III. 3, 6 u. 7.

sodann als Stellvertreter des Kopfes ein kegelförmiger Zapfen, dessen Spitze, aus Osteophyten gebildet, nach innen gerichtet ist. Natürlich kann mit einem solchen Kegelgelenk ein freierer und ausgiebigerer Gang nicht zu Stande kommen, weil die seitlichen Aequilibrirungen gehindert sind, aber das Gehen ist doch möglich, wenn auch in kurzem Trippelschritt.

Untersucht man nun den Femurkopf in Bezug auf die Wölbung seiner Oberfläche, so findet man, dass gerade jene Theile seiner Oberfläche, welche den stärksten Druck von der *superficies semilunaris* auszuhalten haben, flacher sind, d. h. einen grösseren Krümmungshalbmesser besitzen, als die anderen. Es sind dieses die obere und die vordere Seite, dieselben Seiten also, welche zuerst bei der Abschleifung des Kopfes im sog. *malum senile* afficirt werden; — und es ist unverkennbar, dass die grössere Abflachung dieser Seite Folge der Entwickelungshemmung durch den Druck der *superficies semilunaris* ist. — Ein individueller Fall wird dieses am Besten erläutern. Von dem frischen, gesunden Femurkopfe eines jugendlichen männlichen Subjektes wurden die Kurven der Gelenkfläche auf die Weise gewonnen, dass die Umrisse des Kopfes in den drei Projektionen mit Hülfe eines Netzes vergrössert gezeichnet wurden. Es wurde nämlich vor den Femurkopf ein feinmaschiges Netz gestellt, durch ein Fernrohr aus einiger Entfernung angesehen und die Umrisse nach Massgabe des vorstehenden Netzes in ein vergrössertes Netz eingetragen. Auf diese Weise wurden in vierfacher Grösse die Umrisse des Femurkopfes gewonnen in der Ansicht von vornen, in derjenigen von oben und in derjenigen von innen. — Die Ansicht von innen bot die regelmässigste Kreisgestalt, eine geringe Abflachung an der untersten Stelle abgerechnet; — der Halbmesser des Kreises betrug (in der vergrösserten Zeichnung) 55 Mm. — In der Ansicht von oben war der Theil hinter der *fovea* ein Kreisbogen von 90° mit einem Halbmesser von 54 Mm., der Theil vor der *fovea* dagegen ein solcher von 115° mit einem Halbmesser von 57 Mm. — In der Ansicht von vorn war der Theil unter der *fovea* ein Kreisbogen von 50° mit einen Halbmesser von 54 Mm., und der Theil über der *fovea* ein solcher von 100° mit einem Halbmesser von 58 Mm.

Bezeichnet man, um mit einem Vergleiche sich eine übersichtlichere Auffassung zu verschaffen, die *fovea* als Pol des Kopfes, so hat die Aequatorialkurve einen Halbmesser von 55 Mm., die hintere und die untere Meridiankurve einen solchen von 54 Mm., die vordere Meridiankurve dagegen einen solchen von 57 Mm. und die obere Meridiankurve einen solchen von 58 Mm. — Die Gestalt des Femurkopfes ist also nicht eine kugelige, sondern sie erscheint an den Stellen des stärksten Druckes abgeflacht, nämlich an den in der vorderen meridianen Richtung und an den in der oberen meridianen Richtung gelegenen, in letzteren mehr als in ersteren. — Jene oben erwähnte abgeflachte

untere Stelle in der Ansicht von innen rührt ohne Zweifel von dem Drucke des *ligamentum teres* her.

Störung der Bedeutung des Hüftgelenkes als einer Arthrodie können indessen diese verhältnissmässig geringen Verschiedenheiten in der Krümmung der Oberfläche des Femurkopfes nicht veranlassen.

C. Die mittlere Stellung des Femur.

Für die Beurtheilung der Bewegungen des Hüftgelenkes ist es nothwendig, zuerst sich genaue Rechenschaft darüber zu geben, welche Haltung desselben man als Ausgangspunkt der Bewegungen anzusehen habe. — Es liegt nun allerdings nahe, die gewöhnliche Haltung des Hüftgelenkes beziehungsweise Stellung des Beines für diesen Zweck zu wählen; — man darf aber nicht übersehen, dass die als gewöhnliche Stellung des Beines angesehene aufrechte Stellung eine extreme ist, welche nur durch die aufrechte zweibeinige Stellung des Menschen bedingt ist. So wenig man die Wirkung des *m. triceps brachii* erkennen und verstehen kann, wenn man dieselbe in der gestreckten Stellung des Ellenbogengelenkes zu erforschen sucht, eben so wenig würde man im Stande sein, die Wirkungen der auf das Hüftgelenk einwirkenden Muskeln und somit die Bewegungen des Hüftgelenkes zu verstehen, wenn man die Haltung des Beines im aufrechten Stehen als Ausgangspunkt für die Beurtheilung derselben wählen wollte. — Die Richtigkeit dieses Satzes wird auf das Ueberzeugendste bewiesen durch eine unter den Auspicien von Ludwig unternommene Arbeit von A. Fick[1]). Diese Arbeit ist nach Fragestellung und Methode der Durchführung höchst ausgezeichnet, aber ihre Ergebnisse geben leider nicht die gewünschte Belehrung und führen zu sehr paradoxen Sätzen; — der Grund dafür ist nur darin zu finden, dass diese Arbeit eben von der Haltung des Beines in der aufrechten Stellung ausgeht. Sie gibt deshalb, auf die Verlaufsrichtung der Muskeln sich stützend, Bewegungsmomente an, welche in der aufrechten Stellung gar nicht mehr in Richtung treten können, wie z. B. die extendirenden; — und ebenso ist es auffallend, wie gering die Summe der einwärts-rotirenden Momente ist und es würde sogar diese Summe nicht einmal gewonnen worden sein, wenn nicht die Untersuchung in falscher Voraussetzung einen Flexionsgrad von c. 7° als Ausgang genommen hätte; — es wurde nämlich bei einer Beckenstellung von 60° Konjugata-Neigung dem Beine eine senkrechte Lage gegeben (entsprechend den Weber'schen Angaben), während doch in der auf-

1) Statische Betrachtung der Muskulatur des Oberschenkels. — Henle und Pfeufer, Zeitschrift 1850. IX. S. 94—106.

rechten Stellung das Bein eine leicht nach vornen geneigte Lage besitzt, so dass seine Axe einen nach vornen offenen Winkel von ungefähr 83° gegen den Boden bildet; – um aus dieser Stellung in eine senkrechte Stellung zu gelangen, muss also das Bein eine Flexionsbewegung im Hüftgelenk von c. 7° ausführen; — jene von A. Fick als Ausgang der Untersuchung gewählte Stellung war demnach eine leichte Flexionsstellung.

Eine erfolgreiche Untersuchung der Bewegungen und Muskelwirkungen an einem Gelenke kann aber nur von einer solchen Stellung ausgehen, in welcher einem jeden von zwei antagonistisch angeordneten Muskeln die Möglichkeit einer gleichen Bewegungsgrösse gegeben ist. Eine Stellung dieser Art ist aber nur die »mittlere Stellung«.

Sucht man für das Hüftgelenk eine solche Stellung, aus welcher ungefähr je eine gleiche Grösse der Flexion und der Extension, der Adduktion und der Abduktion, sowie der Rotation nach innen und derjenigen nach aussen möglich ist, so findet man leicht, dass es eine solche sein muss, welche die Mitte hält zwischen dem Extrem der Extension im aufrechten Stehen und der stärksten möglichen Flexion des Oberschenkels gegen den Rumpf. Eine solche Stellung ist etwa diejenige, welche wir im aufrechten Sitzen einzunehmen pflegen; daneben muss dieselbe eine leicht abducirte und etwas nach aussen rotirte sein.

Mit absoluter Genauigkeit lässt sich wegen der individuellen Schwankungen diese mittlere Stellung nicht bezeichnen; die soeben gemachten Angaben müssen deswegen genügen. Indessen ist es doch für die weitere Untersuchung von Interesse, wenigstens für denjenigen Theil der Stellung, welcher am Meisten von derjenigen des aufrechten Stehens abweicht, nämlich für den Flexionsgrad, eine gewisse Norm aufzustellen, wobei man eine solche Lage wählen kann, welche leicht mit Bestimmtheit zu bezeichnen ist. Eine solche ist diejenige, bei welcher die Richtung des *m. pyriformis* in die Femurebene fällt. Gibt man dem Femur diese Stellung, dann tritt der *m. glutaeus minimus* von vornen und der *m. quadratus* von hinten an den Trochanter.

Mit diesem hat man nun die Muskel- und Bewegungsverhältnisse des Hüftgelenkes auf das einfachste Schema zurückgeführt, und hat zugleich eine Parallele mit den entsprechenden Verhältnissen an dem Schultergelenk, denn die drei genannten Muskeln zeigen unter den angeführten Bedingungen eine entschiedene Aehnlichkeit mit den drei Muskeln, welche von den Flächen des Schulterblattes zu dem *tuber humeri* gehen. — Der *m. pyriformis* ist, wie der *m. supraspinatus*, abduktorischer Heber, — der *m. glutaeus minimus* ist, wie der *m. subscapularis*, Adduktor mit Einwärts-Rotation, — und der *m. quadratus* ist, wie der *m. infraspinatus*, Adduktor mit Auswärts-Rotation. Nur insofern passt

dieser Vergleich nicht ganz, als die beiden Schulterblattmuskeln, *m. infraspinatus* und *m. subscapularis*, zum *tuber humeri* aufsteigen, — der *m. glutaeus minimus* und der *m. quadratus* dagegen zum Trochanter hinabsteigen; — diese Verschiedenheit gleicht sich aber aus, wenn man dem Humerus statt der durch das aufrechte Stehen bedingten hängenden Stellung eine gehobene mittlere Stellung gibt

Jene drei Hüftgelenkmuskeln vertreten demnach in ihrer Wirkung sehr vollständig die Bewegungen um die Abduktionsaxe und um die Rotationsaxe. Gemeinsame Wirkung des *m. pyriformis* und des *m. glutaeus minimus* kann Flexion, und eine solche des *m. pyriformis* und des *m. quadratus* kann Extension erzeugen, wenn auch diese Bewegungen nicht ganz rein sein können. — Mit den bezeichneten drei Muskeln ist demnach jede Hauptrichtung der Bewegung in dem Hüftgelenke gegeben; sie werden deshalb als die massgebenden der typischen Muskeln anzusehen sein; alle anderen Muskeln geben Ergänzungen in Bezug auf bestimmtere Richtungen und in Bezug auf Kräftigkeit der Aktion.

D. Die Hemmungsbänder.

Die Stellung des Hüftgelenkes im aufrechten Stehen ist eine extreme Stellung in Bezug auf Extension und auf Rotation nach aussen, d. h. die beiden eben genannten Bewegungen sind in dieser Stellung erschöpft und in der Weiterführung gehindert. Als Hemmung wirkt das Verhalten der Hüftgelenkkapsel.

In der mittleren Stellung gehen die Fasern der Gelenkkapsel der Hauptsache nach in gerader Richtung von dem Beckenbeine zu dem Femur hinüber, d. h. so, dass ihre Richtung senkrecht zu dem Pfannenrande gestellt ist. Jede Bewegung in der Richtung der Flexion oder der Extension muss diesen Faserverlauf in der Weise ändern, dass die Fasern einen schrägen oder spiraligen Verlauf um das Gelenk erhalten, und diese Umwickelung der Bandfasern um das Gelenk muss einerseits den Kopf fester in die Pfanne hineindrücken, andererseits hemmend für weitere Bewegungen in einer dieser beiden Richtungen werden. Die stärksten und bedeutendsten Fasermassen finden sich nun aber bekanntlich in dem vorderen Theile der Kapsel, wo sie das *ligamentum ileo-femorale* darstellen, und die Fasern dieses stärkeren Faserzuges steigen noch dazu mehr als die anderen Züge gegen das Femur hinab. Aus diesem Grunde muss neben der spiraligen Verdrehung der ganzen Kapsel namentlich diejenige dieses vorderen Zuges und dessen Spannung für die Extensionsbewegung hemmend werden. Ist das Maximum der Extension erreicht, dann besitzt das *ligamentum ileo-femorale* eine schräg nach aussen hinabgehende Richtung. Von den in dieser Richtung enthaltenen

beiden Komponenten wird indessen nur die eine für die weitere Extensionsbewegung hemmend werden, — die andere, in querer Richtung gehende, wird dagegen hemmend für die Rotation nach aussen; — und somit ist in dem aufrechten Stehen eine extreme Stellung des Hüftgelenkes nach diesen beiden Beziehungen hin gegeben. In einem früheren Abschnitte wurde bereits gezeigt, wie durch die Spannung der torquirten Kapsel überhaupt und namentlich des *ligamentum ileo-femorale* die aufrechte Haltung des Rumpfes auf den beiden Beinen möglich ist, und wie Veränderungen in der Stellung der Beine durch Aenderungen in der Spannung dieses Ligamentes eine verschiedene Beckenstellung bedingen. Es kann daher darauf verzichtet werden, diesen Gegenstand hier noch einmal weiter zu verfolgen. — Es ist nur noch besonders darauf aufmerksam zu machen, dass die Hemmungen der Extension und der Auswärts-Rotation sich gegenseitig ergänzen müssen in der Art, dass die Spannungen des *ligamentum ileo-femorale* durch Mengungen des extensorischen und des rotatorischen Elementes in verschiedenen Verhältnissen hervorgebracht werden können. In einem Extensionsgrade des Hüftgelenkes, welcher für sich allein eine Anspannung des genannten Bandes noch nicht zu erzeugen vermag, ist daher noch die Möglichkeit einer Rotation nach aussen bis zur Anspannung des Bandes gegeben, und umgekehrt. Die Rotationsmöglichkeit muss deshalb in der Beugung stärker sein als in der Streckung und muss bei der Bewegung des Femur aus jener in diese stetig abnehmen.

Durch die angegebenen Verhältnisse gewinnt der als *ligamentum ileo-femorale* bezeichnete stärkere Theil der Hüftgelenkkapsel eine so wichtige Bedeutung, dass er als der wichtigste und massgebendste Theil der Kapsel anzusehen ist. Diese Wichtigkeit beruht indessen weniger auf dem Umstande, dass er gewisse Bewegungen in gewissen Zeitpunkten hemmt, denn diese Eigenschaft kommt allen Kapseltheilen zu; — sie beruht vielmehr auf der Bedeutung, welche er für die statischen Verhältnisse zwischen dem Rumpfe und den Beinen gewinnt.

Neben der Gelenkkapsel befindet sich in dem Hüftgelenke noch ein eigenthümlicher Bandapparat, das *ligamentum teres*, über dessen Bedeutung sehr verschiedene Auffassung gefunden wird. Von der einen Seite wird ihm nämlich entschieden die Bedeutung eines Bandes, insbesondere eines Hemmungsbandes vindicirt, und von anderer Seite wird ihm diese Bedeutung vollständig abgesprochen mit der Behauptung, dass es bei keiner Stellung des Femur gespannt sei, dagegen aber soll es dazu dienen, dem Femurkopfe Gefässe zuzuführen. — Diese letztere Ansicht ist kaum der Beachtung werth, weil sie bei näherer Prüfung in sich selbst zusammenfällt; für's Erste nämlich findet man allerdings bei gewissen Stellungen des Femur das *ligamentum teres* gespannt, und für's

Zweite ist kein Grund vorhanden anzunehmen, dass der Gelenkkopf des Femur eine Quelle der Gefässzufuhr mehr haben müsse als andere Gelenkenden, und sollte man selbst daran denken wollen, dass solches der Fall sein könne, so würde man eine solche Meinung doch sogleich wieder aufgeben müssen, weil weder ein grösseres Gefäss in dem Ligamente sichtbar ist, noch auch ein grösseres Gefässloch in der Anheftungsstelle des Ligamentes an dem Femurkopfe und weil selbst die *arteria acetabuli*, welche doch noch das Gelenkfett in der *fovea acetabuli* zu versehen hat, eine verhältnissmässig sehr unbedeutende Arterie ist.

Das *ligamentum teres* hat also die Bedeutung eines Bandes, insbesondere eines Hemmungsbandes. Es ist nur noch die Frage zu stellen, welche Funktion ihm in dieser Eigenschaft zukommt. — Die verbreitetste Ansicht über diesen Gegenstand ist die von den Brüdern Weber aufgestellte, nach welcher das *ligamentum teres* ein Hemmungsband für die Adduktion sein soll. Diese Meinung gründet sich darauf, dass dasselbe in der aufrechten Stellung senkrecht gestellt ist und somit in der Adduktionsebene liegt. Wenn man nun aber bei unversehrter Kapsel die Gelenkpfanne von innen geöffnet und die Spannungsverhältnisse des *lig. teres* untersucht, so findet man, dass es in der aufrechten Stellung nicht gespannt ist und die Adduktion nicht hemmt. Es muss daher die Funktion dieses Bandes in einer andern Richtung gesucht werden. In welcher Richtung man die meiste Aussicht habe, eine Lösung der Frage zu finden, darüber gibt die Gestalt der *fovea capitis* die beste Auskunft. Diese Grube besteht nämlich aus zwei scharf geschiedenen Theilen. Der eine mehr nach vornen gelegene Theil ist eine kleine rauhe ovale Fläche; dieses ist die Anheftungsstelle des Bandes; der zweite hintere Theil ist eine glatte Rinne, welche tiefer an jener Anheftungsstelle beginnt und nach hinten seichter ausläuft. Die Richtung dieser Rinne ist dieselbe, wie diejenige der Axe des Femurhalses. Es ist keinem Zweifel unterworfen, dass diese Rinne ihre Entstehung dem Seitendrucke des gespannten Bandes verdankt und es ist daher der Schluss gestattet, dass das Band dann am Meisten gespannt, dann also in seiner funktionell wichtigen Lage sich befindet, wenn es in dieser Rinne gelegen ist. Untersucht man nun an einem Präparate oben bezeichneter Art, welche Stellung des Femur einer solchen Lage des Bandes entspricht, so findet man, dass dieses eine solche Flexion des Femur ist, bei welcher das *collum femoris* in der Richtung desjenigen Pfannenradius gestellt ist, welcher durch den hinteren Theil der *incisura acetabuli* geht. Für die Spannung des Bandes ist dabei übrigens noch eine Rotation nach aussen nothwendig. — Man ersieht also daraus, dass das *ligamentum teres* bei flektirter Stellung des Femur hemmend für die Rotation nach aussen wird. Diese Wirkung ist übrigens nicht blos auf die eine oben

bezeichnete Flexionsstellung beschränkt, sondern macht sich auch noch in den nach beiden Seiten hin benachbarten Flexionsgraden geltend.

Eine weitere Frage ist dann diejenige, wie die angegebene Funktion des *ligamentum teres* sich zu der unter gleichen Verhältnissen auftretenden gleichartigen Funktion des *ligamentum ileo-femorale* verhalte. In Antwort auf diese Frage muss ich bemerken, dass in keiner hierher gehörigen Stellung das *ligamentum teres* allein gespannt zu sein scheint; — immer tritt die Spannung zugleich in dem *ligamentum teres* und in dem *ligamentum ileo-femorale* auf und es ist hieraus ersichtlich, dass diese beiden Bänder für die bezeichnete Klasse von Stellungen ein hemmendes Kräftepaar darstellen, welches auf beiden Seiten der Axe wirkt, in ähnlicher Weise, wie die beiden *ligamenta alaria majora* an dem Zahne des Epistropheus.

Anmerkung. Mit obigen Sätzen gebe ich nur vorläufige Mittheilung über Untersuchungen, welche ich in Bezug auf den fraglichen Gegenstand unternommen, aber noch nicht zu völligem Abschlusse gebracht habe.

Eine weitere Bedeutung scheint dem *ligamentum teres* auch noch darin zuzukommen, dass es bei gewissen Bewegungen das Gelenkfett der *fovea acetabuli* in die Pfanne hereinzieht. Oder ist jene Fettmasse nur eine Einrichtung, welche dem *ligamentum teres* freieren Spielraum zu schaffen geeignet ist? Auch über diesen Fragepunkt sind noch weitere Untersuchungen zu unternehmen.

In praktischer Beziehung gewähren die besprochenen Verhältnisse mancherlei Interesse, auf welches aber hier der Ort nicht sein kann, näher einzutreten. — Es sei deswegen hier nur der folgenden beiden Punkte Erwähnung gethan:

1) die charakteristischen Haltungen in dem Hüftgelenke und sekundär auch in dem Becken bei Koxalgie erklären sich genügend aus dem Bestreben, dem Femur eine der »mittleren« möglichst nahe Stellung in dem Hüftgelenke zu geben, um die mit einseitigen Spannungen verbundenen Schmerzen zu vermeiden;

2) das *ligamentum ileo-femorale* als ein ungemein starker Bandstrang wird, ganz ausserordentliche Fälle abgerechnet, bei Luxationen niemals zerreissen oder abreissen; — aus diesem Grunde kann ein Austreten des Femurkopfes nur nach hinten oder unten primär stattfinden, — aus demselben Grunde muss auch das *lig. ileo-femorale* massgebend für die Lagerungen des Femurkopfes nach dem Austreten aus der Pfanne werden und kann ferner mit Vortheil als Führung bei der Einrichtung der Hüftverrenkungen benutzt werden. Vgl. hierüber meinen Aufsatz II. 1, zu dessen Ergänzung ich übrigens hier bemerken will, wie ich mich seitdem überzeugt habe, dass, entgegen meiner dort ausgesprochenen Meinung, eine primäre Luxation auf das

Hüftbein nicht vorkommen kann, weil ein solcher Grad der Extension in dem Hüftgelenk, wie er dafür nothwendig wäre, niemals zu Stande kommen kann. Ich muss deshalb, wie damals schon die sogen. Luxation auf das Schambein, so jetzt auch die sogen. Luxation auf das Hüftbein für eine sekundäre Lagerung erklären.

E. Die Muskeln des Hüftgelenkes.

Was die Muskeln anbetrifft, welchen die Bewegungen in dem Hüftgelenke zukommen, so ist in der Einleitung zu diesem Abschnitte bereits darauf hingewiesen, dass, der besonderen Verwendung des Beines entsprechend, diese Muskeln nach zweierlei Seite hin beurtheilt werden müssen, — einerseits nämlich, insofern sie Beweger des Femur oder des ganzen Beines sind, und — andererseits, insofern sie bei feststehendem Beine Beweger des Beckens, beziehungsweise des ganzen Rumpfes sind. Dass es nicht möglich ist, eine Scheidnng unter den betreffenden Muskeln nach diesen beiden Beziehungen hin zu machen und dieselbe genau durchzuführen, versteht sich von selbst, denn alle das Hüftgelenk umlagernden Muskeln müssen, je nach Wahl des *punctum fixum*, in beiderlei Richtung funktioniren können; aber man kann doch aus der ganzen Masse der hierher gehörigen Muskeln solche hervorheben, bei welchen es unverkennbar ist, dass sie ihre hauptsächlichste und bedeutendste Wirksamkeit nur dann entfalten, wenn das Bein das *punctum fixum* und das Becken das *punctum mobile* ist. — Mangel an Berücksichtigung dieser Verschiedenheit und Mangel an Berücksichtigung der Nothwendigkeit, die Wirkung von Muskeln nur nach der mittleren Lage des Gelenkes zu beurtheilen, hat gerade bei den hier in Rede stehenden Muskeln zum Theil durchaus unrichtige Auffassungen herrschend werden lassen, so namentlich z. B. über die Adduktoren.

Die typischen Hüftgelenkmuskeln umschliessen in einer nahezu geschlossenen trichterförmigen Schichte das ganze Hüftgelenk. Als hierher gehörig ist für's Erste die Reihe folgender Muskeln anzusehen:

m. ilio-psoas,
- *glutaeus minimus*,
- *pyriformis*,
- *obturator internus* mit *m. gemellis*,
- *quadratus femoris*,
- *adductor minimus*,
- *adductor brevis*,
- *pectineus*.

Bei dieser Zusammenstellung ist einem unstreitig hierher gehörigen Muskel allerdings ein Platz nicht angewiesen, nämlich dem *m. obturator externus*, welcher rotatorische und adduktorische Principien vertritt, die in obiger Zusammenstellung in grösserer Zerlegung vertreten sind. Grösste Einfachheit in Zusammenstellung der typischen Muskeln würde allerdings damit erreicht gewesen sein, dass der *m. obturator externus* als fünfter in der Reihe obiger Aufzählung aufgenommen und dagegen die vier letzten (*quadratus* bis *pectineus*) weggelassen worden wären. Die gewählte Zusammenstellung gewährt aber den Vortheil, dass in derselben eine ungestörte Aneinanderreihung der verschiedensten radial gegen den Trochanter konvergirenden Richtungen gegeben ist.

In Früherem wurde mit Rücksicht auf die alsdann mögliche einfache Deutung der Muskeln die mittlere Stellung des Femur so bestimmt, dass der *m. pyriformis* in die Femurebene fällt, somit also reiner Abduktor ist. Die beiden Muskeln *m. quadratus femoris* und *m. glutaeus minimus* können dann gemeinsam Vertreter der adduktorischen Thätigkeit sein, getrennt Vertreter der rotatorischen, und einzeln vereinigt mit dem *m. pyriformis* Vertreter der flexorischen und extensorischen. — Die bezeichneten drei Muskeln können demnach als genügend angesehen werden für die Erzeugung der Bewegung um die drei Axen, und die übrigen Muskeln der obigen Zusammenstellung sind daher entweder ergänzend oder Zwischenrichtungen vertretend. Am Reinsten tritt die Bedeutung einer Ergänzung auf in dem *m. adductor brevis*, welcher als adduktorischer Antagonist dem *m. pyriformis* gegenüber gestellt ist. An den *m. adductor brevis* reihen sich an beiden Seiten vornen der *m. pectineus*, hinten der *m. adductor minimus* an, welche beide eine adduktorische Wirkung haben, verbunden indessen bei dem *m. pectineus* mit flexorischer und bei dem *m. adductor minimus* mit extensorischer Wirkung. Auf ähnliche Weise reihen sich an den *m. pyriformis* zwei Uebergangsmuskeln an, nach hinten der *m. obturator internus* mit den *m. gemellis* als Uebergang in Lage und Wirkung zwischen dem *m. pyriformis* und dem *m. quadratus*; nach vornen aber der *m. glutaeus medius*. Dieser Muskel ist in oben gegebener Reihenfolge nicht mit aufgezählt, weil er verschieden aufgefasst werden kann; als Einfachstes erscheint es nämlich, ihn für eine Verdoppelung des *m. glutaeus minimus* anzusehen und in so fern ihm eine besondere Stellung nicht anzuweisen; — wenn man aber dagegen berücksichtigt, dass sein Ursprung an dem Hüftbeine zwar den *m. glutaeus minimus* deckt, aber doch zu einem grossen Theile hinter diesem gegen den *m. pyriformis* zu sich befindet, so kann man ihm mit Rücksicht auf dieses letztere Verhältniss eine Mittelstellung zwischen dem *m. glutaeus minimus* und dem *m. pyriformis* zuerkennen und ergänzt dadurch das Schema der typischen Hüft-

gelenkmuskeln so, dass man für die oben angenommene »mittlere Stellung« des Gelenkes vier Muskeln den Bewegungen um zwei Axen direkt und um die dritte Axe indirekt entsprechen sieht, — und daneben vier andere in Zwischenrichtungen eingeschaltete ergänzende Muskeln. Dem *m. obturator externus* muss dabei allerdings eine besondere Stellung vindicirt werden, wenn man ihn nicht in die folgende Kategorie stellen will.

Die in dem Obigen aufgeführten Muskeln liegen also in acht Radien um das Hüftgelenk herum oder in vier Durchmessern. Mit Berücksichtigung dieses Verhältnisses ist es dann nicht schwierig, sich darüber zu orientiren, wie mit veränderter Stellung des Femur zugleich nothwendiger Weise auch eine Veränderung in der funktionellen Bedeutung der betreffenden Muskeln gegeben sein muss. — Man muss nur daran festhalten, dass die oben aufgestellte Femurebene diejenige Ebene ist, in welcher die Flexionsaxe und die Rotationsaxe gelegen sind und zu welcher die Abduktionsaxe senkrecht steht. Bei den flexorischen und extensorischen Bewegungen bleibt die Flexionsaxe ruhend und die beiden anderen Axen kommen in stets veränderte Stellung zu den Radien des Kreises, in welchem sich die Femurebene um die ruhende Flexionsaxe dreht; als Radien dieses Kreises stehen aber die Richtungen der oben bezeichneten Muskeln da, und es ist nun leicht einzusehen, dass immer diejenigen Muskeln, deren Richtung in die Femurebene fällt, für die augenblickliche Stellung dieser eine abductorische, beziehungsweise adduktorische Bedeutung haben müssen, während dagegen diejenigen, deren Richtung zur Femurebene senkrecht steht, für dieselbe Stellung rotatorische Bedeutung finden müssen.

Für die in Obigem als »mittlere Stellung« gewählte Stellung der Femurebene war deshalb als Abduktor der *m. pyriformis* hingestellt und der *m. glutaeus minimus* sowie der *m. quadratus* als Rotatoren. — In stärkerer Beugung muss der *m. obturator internus* in die abduktorische Bedeutung eintreten, — in stärkerer Streckung aber nach einander der *m. glutaeus medius* und der *m. glutaeus minimus*, während zugleich der *m. obturator internus* und der *m. pyriformis* mehr in rotatorische Bedeutung übergehen.

Anmerkung: Ich verkenne nicht, dass das in dem Obigen gegebene Bild über die funktionelle Bedeutung der Hüftgelenkmuskeln etwas zu scharf schematisirt ist und dass es namentlich für die drei unteren Muskeln (*m. adductor minimus* bis *m. pectineus*) nicht ganz zutreffend ist, weil bei deren stärker absteigenden Richtung ihre radiale Stellung zu dem Femurkopfe weniger augenfällig ist und wegen dieser Richtung auch die rotatorische Bedeutung dieser Muskeln sehr in den Hintergrund tritt. — Dennoch glaubte ich jenes Bild soweit als möglich ausführen zu sollen, weil es nur mit Hülfe desselben als möglich erschien, eine genauere Grundlage für die

Beurtheilung der Wirkung der Hüftgelenkmuskeln zu gewinnen, und weil es nicht schwierig ist, die durch die besonderen Verhältnisse der betreffenden einzelnen Muskeln gebotenen Modifikationen an dem gewonnenen Schema anzubringen. — Ausserdem gewährt auch dieses Schema den Vortheil, in übersichtlicher Weise erkennen zu lassen, wie durch eine Anzahl antagonistischer Muskelpaare die Fixirung des Femurkopfes in der Pfanne zu Stande gebracht, oder, bei der bekannten Wichtigkeit des Luftdruckes für diese Fixirung, wenigstens unterstützt wird.

Die in dem Bisherigen besprochenen Hüftgelenkmuskeln werden bei festgestelltem Beine nothwendiger Weise auch das Becken auf dem Femurkopfe bewegen, es ist indessen unverkennbar, dass ihre Wirkung vorzugsweise nach der Bewegung zu beurtheilen ist, welche sie dem Femur bei ruhendem Becken mittheilen. Bei einer zweiten Kategorie von Hüftgelenkmuskeln ist das Umgekehrte der Fall, indem bei ihnen allerdings ein Einfluss auf Bewegung des Femur bei ruhendem Becken unverkennbar ist, aber ihre Bedeutung doch erst dann vollkommen verstanden wird, wenn man das Becken als das *punctum mobile* ansieht, auf welches ihre Thätigkeit gerichtet ist. — Um die Wirkung dieser Muskeln auf das Becken zu verstehen, ist es nothwendig, wieder von der mittleren Stellung des Hüftgelenkes auszugehen.

Befindet sich das Hüftgelenk in mittlerer Stellung, so liegt eine Linie, welche von der *spina anterior superior* des Hüftbeines zu dem *tuber ischii* gezogen werden kann, annähernd senkrecht zu der Femurebene und beide genannten Punkte des Beckens erscheinen dann als die Endpunkte eines zweiarmigen Hebels, dessen Hypomochlion in dem Mittelpunkte des Femurkopfes sich befindet. — Sind beide Beine symmetrisch gestellt und findet eine symmetrische Muskeleinwirkung auf das Becken statt, dann ist das Hypomochlion für das Becken die Hüftaxe, d. h. die Verbindungslinie der Mittelpunkte beider Femurköpfe. — Im Interesse einfacherer Auffassung sei für's Erste einmal der letztere Fall angenommen.

Beide Beine sollen also vollkommen symmetrisch etwa mit Parallelismus ihrer Axen auf dem Boden stehen und das Becken soll eine solche Neigung nach vornen haben, dass das Hüftgelenk sich in der mittleren Stellung befindet. Die *spina ilei* wird dann nach vornen von dem Hüftgelenke gelegen sein, das *tuber ischii* nach hinten von demselben, und die *symphysis ossium pubis* gerade zwischen den beiden Femora. In dieser Lage kann sich das Becken um die Hüftaxe drehen, wie ein Wagbalken um seine Axe; der für eine solche Drehung möglichen Kraftrichtungen sind vier, auf jeder Seite nämlich eine nach oben wirkende und eine nach unten wirkende. Zunächst interessiren uns hier nur die beiden nach unten wirkenden Kraftrichtungen, weil sie durch Muskeln vertreten sind, die man als auf das Hüftgelenk einwirkende Muskeln anzusehen gewohnt ist, indessen sind doch die nach oben wir-

kenden Kräfte nicht zu übersehen, weil sie, wenn das Becken ihr *punctum mobile* ist, eine ebenso kräftige Bewegung des Beckens um die Hüftaxe erzielen können, und jedenfalls im Stande sind, die Wirkung der von unten her arbeitenden Kräfte zu unterstützen.

Die von unten her auf das Becken einwirkenden Muskeln sind theils solche, welche vor dem Hüftgelenke angreifen, theils solche, welche hinter dem Hüftgelenke angreifen. Erstere bewirken Senkung des Hüftbeines und somit Beugung des Hüftgelenkes; — letztere Senkung des *tuber ischii* und somit Streckung des Hüftgelenkes. Beide Erfolge haben wir schon durch die früher besprochenen Muskeln erzielt werden sehen, aber dort nur als Resultirende von abduktorischen und rotatorischen Wirkungen, — in umgekehrter Richtung ihrer Wirkung, d. h. bei feststehendem Femur und beweglichem Becken müssen dieselben Kräfte auch das Becken in dem angegebenen Sinne bewegen können. Die Hauptwirkung in diesem Sinne müssen aber immer die hier zu besprechenden Muskelkräfte haben und es ist für die Gehbewegung von Interesse, dass die hierdurch allein scharf und bestimmt auftretenden flexorischen und extensorischen Einwirkungen auf das Hüftgelenk der Art sind, dass sie am Leichtesten zu verstehen sind, wenn man das Becken als *punctum mobile* hinstellt.

Vor dem Hüftgelenke wirken herabziehend auf das Becken die Muskeln:

m. ileo-psoas, dessen *punctum fixum* der *trochanter minor* ist,
m. rectus femoris, mit dem *punctum fixum: tuberositas tibiae*,
m. tensor fasciae latae, mit dem *punctum fixum: tuberculum tibiae*.

Der *m. ileo-psoas* ist in der aufrechten Stellung in einer für seine Thätigkeit sehr ungünstigen Lage, indem seine Richtung nur sehr wenig vor der Hüftaxe vorbeigeht, einerseits nämlich liegt er in der *incisura psoica* dicht auf dem Hüftgelenk und andererseits liegt er in seinem Verlaufe zum *trochanter minor* von aussen her seitlich auf dem Femurkopfe und ist damit der Hüftaxe noch mehr genähert; besonders betrifft letzteres die vordere Randportion des *m. iliacus*. In dem aufrechten Stehen kann der *m. ileo-psoas* deshalb vorzugsweise nur einen Seitendruck von vornen und von aussen auf das Hüftgelenk ausüben, und diesem entspricht auch die beträchtliche Tiefe der *incisura psoica* des menschlichen Beckens, verbunden mit Auswärtsdrängung der *spina anterior inferior*. Ist aber einmal eine Beugung (mittlere Stellung) vorhanden, dann wird die Lage eine günstigere und es kann nun eine Flexionsbewegung mit mehr Kraft und Erfolg ausgeführt werden, sei es, dass das Femur oder dass das Becken dabei *punctum fixum* ist.

Während man bei dem *m. ileo-psoas* in Zweifel sein kann, ob man ihn in die hier besprochene Kategorie von Muskeln stellen, oder ihn als eine Ergänzung in die Reihe der früher besprochenen Hüftmuskeln im engeren Sinne einschieben soll, stellt sich der *m. rectus femoris* als entschieden in diese Kategorie gehörig dar. Seine erste Wirkung geht ja bekanntlich auf das Kniegelenk und seine zweite erst auf das Hüftgelenk und dass in dieser letzteren Wirkung das Becken als das durch die Organisation bezeichnete *punctum mobile* anzusehen ist, beweist die Anordnung der Anheftungssehne an dem Hüftbeine, indem ein Theil der Sehne zwar an der *spina anterior inferior* angeheftet ist, der andere Theil aber den oberen Theil des Pfannenrandes in ähnlicher Weise umgreift, wie ein Seil eine Rolle. Bei einem Zug des *m. rectus* muss also dieser Theil sich abwickeln und das Becken bewegen, wobei er ähnlich, wie ein um eine Rolle geschlungenes Seil stets in günstiger Zugrichtung bleibt.

In ähnlicher Weise ist auch der *m. tensor fasciae latae* in erster Wirkung auf das Kniegelenk gerichtet, welches er zwar aus der gebeugten Lage nicht in Streckung bringen kann, dessen gestreckte Lage er aber zu unterhalten vermag. In zweiter Wirkung zieht er die *spina anterior superior* und damit den vorderen Theil des Beckens hinab.

Unterstützend für die Wirkung der genannten Muskeln ist der von oben her auf den hinteren Theil des Beckens einwirkende Zug des *m. sacrolumbalis*, indem er, die Lendenwirbelsäule einknickend, das Kreuzbein gegen die Brustwirbelsäule hinaufhebt.

Hinter dem Hüftgelenk herabziehend wirken die Muskeln:

- *m. adductor magnus*, mit dem *punctum fixum: linea aspera femoris*,
- *m. semimembranosus* } mit dem *punctum fixum: tibia*,
- *m. semitendinosus* }
- *m. biceps femoris*, mit dem *punctum fixum: capitulum fibulae*,
- *m. glutaeus maximus*, mit dem *punctum fixum: femur* und *tibia*.

Beim ersten Blick auf diese Zusammenstellung muss es schon auffallen, dass die Masse an wirksamer Muskelsubstanz, welche den hinteren Theil des Beckens hinabzieht, so sehr viel beträchtlicher ist, als die an der vorderen Seite des Beckens im antagonistischen Sinne wirkende Masse und man ist dadurch aufgefordert, die Bedeutung dieses Missverhältnisses zu suchen. Eine Erklärung dafür findet sich aber in der grossen Wichtigkeit, welche die Aufrichtung des Beckens für die Gehbewegung erlangt, indem ja eine Hauptthätigkeit bei dieser darin besteht, dass auf dem vorgesetzten in der Hüfte gebeugten Bein das Becken und mit diesem der ganze Rumpf aufgerichtet wird; — wenn man bedenkt, an einem wie kleinen Hebelarm die Muskeln, denen diese Arbeit obliegt,

operiren können, so darf ihre relativ beträchtliche Stärke nicht Wunder nehmen. Dass die Beugemuskeln im Verhältniss zu den Streckmuskeln so unbedeutend erscheinen, ist ebenfalls aus dem Zustandekommen der Gehbewegung zu erklären, indem die Flexionsstellung des Hüftgelenkes auf dem vorgesetzten Beine zum Theil durch die Pendelung des Beines nach vornen, zum Theil durch das Fallen, um den Fuss des hinteren Beines zu Stande kommt, — und indem sowohl bei der Gehbewegung als auch ausser derselben eine geringe Verschiebung des Schwerpunktes gegen vornen über die Hüftaxe hinaus schon genügt, eine Beugung in dem Hüftgelenke durch Vorwärtsfallen des Rumpfes auf den feststehenden Beinen hervorzubringen.

Die oben aufgezählten Muskeln sind in Bezug auf ihre Wirkung für die Bewegung des Beckens nur drei Muskeln gleich zu achten, von welchen ein jeder seine Eigenthümlichkeit zeigt. Als reiner Herabzieher des hinteren Theiles des Beckens ohne erwähnenswerthe Nebenwirkung steht die Gruppe der drei von dem *tuber ischii* entspringenden Muskeln (*m. semimembranosus*, *m. biceps* und *m. semitendinosus*) da. Interessant ist es, dass diese Gruppe zugleich Beugergruppe für das Kniegelenk ist und in ihrer Wirkung deshalb mit der Hüftstreckung eine Kniebeugung vereinigt, ein Verhältniss, über dessen Bedeutung für die Gehbewegung ich mich in I. 11 einlässlicher ausgesprochen habe.

Der *m. adductor magnus* hat adducirende und rotirende Nebenwirkung, welche letztere indessen sehr bald, nachdem die extensorische Thätigkeit einigen Erfolg gehabt hat, so weit verschwindet, dass sie ausser Acht gelassen werden kann. Die adducirende Wirkung muss zwar auch mit Zunahme der Feststellung des Hüftgelenkes durch Torsion der Kapsel geringer werden, aber sie ist doch noch vorhanden, nachdem die extendirende Wirkung ihr Ende dadurch erreicht hat, dass der Ursprungspunkt des *m. adductor magnus* an dem *os ischii* zwischen beide Femora gerückt ist. Bei der geläufigen Art, die Wirkungsweise der Hüftgelenkmuskeln vom aufrechten Stehen ausgehend zu beurtheilen, beachtet man deswegen diese Wirkung allein und hat in diesem Sinne dem Muskel seinen Namen ertheilt.

Der *m. glutaeus maximus* hat durch seine Hauptanheftung unterhalb des *trochanter major* eine entschiedene und kräftige rotatorische Nebenwirkung und gewinnt durch einen Theil seiner Sehne auch noch einen später zu besprechenden Einfluss auf das Kniegelenk. In Bezug auf ihre extensorische Bedeutung können beide *m. glutaei maximi* als eine Muskelschlinge angesehen werden, welche über die hintere Seite des Kreuzbeines geworfen ist und dieses durch Seitendruck nach hinten hinabdrückt.

Unterstützend für die Wirkung dieser Muskeln ist durch Hebung des vorderen Theiles des Beckens der *m. rectus abdominis*, und der *m. psoas minor*, wo ein solcher vorhanden ist.

Eine eigenthümliche unreine Stellung hat der *m. adductor longus*, indem derselbe in der mittleren Stellung fast reiner Adduktor ist, — in stärkerer Beugung des Hüftgelenkes aber sich der extendirenden Wirkung des *m. adductor magnus* anschliesst — und in dem aufrechten Stehen Herabzieher für den vorderen Theil des Beckens wird.

Die beiden kleinen Adduktoren *m. adductor brevis* und *minimus* haben, wenn für sie das Becken *punctum mobile* ist, eine ähnliche unbestimmte Stellung, wobei sich der erstere dieser beiden Muskeln mehr dem *m. adductor longus* und der zweite derselben mehr dem *m. adductor magnus* anschliesst.

F. Die Gestalt des Femur.

Wie aus der in Obigem gegebenen Uebersichtsskizze hervorgeht, gewinnt nicht nur der *m. glutaeus maximus*, sondern auch der *m. adductor magnus* und überhaupt die ganze Adduktorengruppe eine grosse Wichtigkeit für das Zustandekommen der Gehbewegungen. Diese Gruppe ist demnach, wie der *m. glutaeus maximus*, von welchem dieses schon längst bekannt ist, in häufiger kräftiger Thätigkeit und kann deshalb auch einen Einfluss auf die Entwickelung der Gestalt des Femur gewinnen; wenigstens lässt sich aus der Wirkung des *m. adductor magnus* am Leichtesten ein sehr bemerkenswerther Theil in der Gestalt des Femur erklären.

In der Seitenansicht des Femur bemerkt man nämlich, dass zwischen dem oberen Viertel oder Drittel des *corpus femoris* und dem grösseren unteren Theile desselben eine nach hinten konkave Einknickung sich findet. Diese Einknickung ist in manchen Individuen geringer, in anderen stärker, bei Rachitischen ist sie sehr beträchtlich; — bei der Untersuchung der Knochen von Kindern, welche an Rachitis leiden, findet man auch häufig gerade an dieser Stelle eine Einknickung der Art, wie sie in II. 2 Taf. IV Fig. 2 von dem Humerus abgebildet ist. — Die Regelmässigkeit des Vorkommens dieser Einknickung an derselben Stelle und die verschieden starke Ausbildung derselben bei verschiedenen Individuen weist darauf hin, dass diese Bildung durch Umstände hervorgerufen wird, welche bei allen Individuen wirken, welche aber bei verschiedenen Individuen einen verschieden starken Erfolg zeigen; — dass dieser verschiedene Erfolg in der verschiedenen Widerstandsfähigkeit der Knochen begründet ist, beweist das angegebene Verhalten rachitischer Knochen, an welchen diese Einknickung am Stärksten er-

kennbar ist und während der Dauer der Krankheit als wirkliche faltige Knickung der Knochensubstanz an der hinteren Seite des Femur erscheinen kann. — Dieses letztere Vorkommen weist aber auch zugleich darauf hin, dass für sein Zustandekommen zwei Gewalten einwirken müssen, von welchen die eine über die andere unter der Bruchstelle sich geltend macht, beide aber in der Richtung nach hinten und zugleich in longitudinaler Richtung wirken.

Bei der Analyse der Gewalten, welche hier zusammenwirken können, wird man zweierlei zu unterscheiden haben, fürs Erste nämlich solche, welche eine Biegung des Femur überhaupt zu erzielen streben, und dann noch solche, welche es bedingen, dass gerade an der bestimmten Stelle der Erfolg in die Erscheinung tritt.

Als biegende Momente überhaupt können die beiden folgenden sich geltend machen:

1) In dem aufrechten Stehen fällt die Schwerlinie hinter der Hüftaxe herunter, dem Beine wird damit in seinem oberen Theile durch die Last des Rumpfes und den Zug des *ligamentum ileofemorale* ein Druck nach hinten und unten gegeben, dessen Wirkung sich vorzugsweise in dem Femur geltend machen muss, weil die Schwerlinie durch das Kniegelenk hinabfällt und der Gegendruck deshalb zunächst an dem unteren Ende des Femur von der festgestellten Tibia aus antworten muss.

2) In dem vorgebückten Stehen wirken von der Tibia aus die drei von dem *tuber ischii* entspringenden Kniebeuger und üben im Vereine mit der vor der Hüftaxe lastenden Schwere des Rumpfes einen Axendruck auf den Femurkopf, welcher die gleiche Wirkung haben muss, wie in dem aufrechten Stehen die Schwerelast des Rumpfes für sich allein; zugleich tritt aber hier der unmittelbar unter dem Kniegelenk wirkende Zug des unteren Endes dieser Muskeln als Gegenwirkung von unten her auf. — In ähnlicher Weise müssen dieselben Muskeln durch ihre elastische Gegenspannung wirken, wenn ein Sitzen mit gestreckten Knieen versucht oder ausgeführt wird, wie dieses namentlich bei Kindern der Fall ist, welche auf den flachen Boden gesetzt werden oder in dem Bette aufrecht zu sitzen sich bemühen.

Stellt man sich nun die Frage, warum die fragliche Einknickung des Femur immer gerade an der besprochenen Stelle sich zeigen muss und nicht das eine Mal an dieser, das andere Mal an jener Stelle, so findet man die Antwort in der Wirkung des *m. glutaeus maximus* und des *m. adductor magnus*. Ersterer zieht mit seinem Hauptansatze den über der Einknickungsstelle gelegenen Theil des Femurkörpers nach hinten und drückt zugleich in dem gleichen Sinne auf den Trochanter durch

denjenigen Theil seiner Sehne, welcher flächenhaft ausgebreitet über den Trochanter hin gelegen ist, um sich mit der Sehne des *m. tensor fasciae latae* zu vereinigen. Unterhalb der Einknickungsstelle aber wirkt in einer langen Linie der *m. adductor magnus* und zieht den Theil des Femur, an welchem er sich ansetzt, als Ganzes nach aufwärts. Die zwischen den beiden Einwirkungen liegende Stelle des Femur wird also nicht nur die knickende Wirkung dieser, sondern auch den grössten Theil der Einwirkung der vorher besprochenen beiden Gewalten auszuhalten haben und deshalb je nach der Widerstandsfähigkeit der Knochensubstanz in höherem oder geringerem Grade den Einfluss dieses Verhältnisses erfahren. Der adduktorische Theil der Wirkung des *m. adductor magnus* ist ohne Zweifel auch theilweise Ursache dafür, dass die Konvexität dieser Krümmung bei rachitischen Knochen stark nach aussen gerichtet ist; — ein Theil dieser Erscheinung mag übrigens auch darin begründet sein, dass die Belastung durch die Schwere des Rumpfes beide Femurköpfe nach unten drückt und dadurch bei nachgiebiger Knochenmasse eine seitwärtse Ausbiegung hervorbringen kann.

Schliesslich ist noch in Bezug auf die Gestaltung des oberen Endes des Femur aufmerksam zu machen auf den Bau des Femurhalses, welcher indessen allerdings mehr in statischer als in mechanischer Beziehung von Interesse ist. Die Gestalt desselben ist nämlich vorzugsweise geeignet, die Belastung von dem Becken auf das Bein zu übertragen, indem seine Wurzel an der Einpflanzungsstelle in den Femurkörper in der Richtung von oben nach unten sich beträchtlich verbreitert. — Je steiler die Stellung des Halses ist, um so geeigneter ist er natürlich dafür, die Schwere des Rumpfes zu tragen. Eine steilere Stellung des Halses muss deswegen für das normale Verhältniss angesehen werden; eine horizontalere Stellung dagegen, wenn auch nicht gerade als abnorme, so doch als eine minder günstige Form. — Ihre Entstehung ist davon herzuleiten, dass während der Entwickelung des Femur die Resistenzfähigkeit in der für die Verknöcherung vorbereiteten Knorpelschichte geringer war und deswegen die Epiphyse des Femurkopfes dem Drucke weichend sich mehr oder weniger nach unten verschiebt in ähnlicher Weise, wie eine seitliche Verschiebung der unteren Epiphyse der Tibia in II. 2 Taf. IV Fig. 3 abgebildet ist. Bei einem rachitischen Femur findet man deshalb auch eine sehr horizontale, manchmal sogar nach innen hinabgeneigte Stellung des Halses, wozu freilich auch das oben erwähnte seitliche Ausweichen des Femurkörpers etwas beitragen mag. — Dass ein steilerer Femurhals dem männlichen und ein horizontalerer dem weiblichen Körper charakteristisch sein soll, wie vielfach behauptet wird, kann ich nicht finden.

2. Das Kniegelenk.

Das menschliche Kniegelenk ist eine ziemlich komplicirte Bildung welche im Ganzen zwar als Ginglymus aufgefasst werden kann, dabei aber doch so wesentliche Modifikationen und Eigenthümlichkeiten zeigt, dass das einfache Schema des Ginglymus bei der genaueren Untersuchung dieses Gelenkes gar keine Anwendung mehr finden kann.

Die beste Uebersicht über Bau und Mechanismus des Kniegelenkes erhält man, wenn man dasselbe in einzelne Bestandtheile von verschiedener Bedeutung zerlegt und jeden einzelnen Bestandtheil für sich in Bezug auf seine Funktion untersucht. Zerlegt man dann auch die Bewegungen nach Massgabe dieser einzelnen Bestandtheile, so kann man ein möglichst einfaches und deutliches Bild gewinnen.

A. Uebersicht über Bau und Bewegungen des Kniegelenkes.

In dem Kniegelenke stossen bekanntlich die beiden breiten und starken Gelenkenden des Femur und der Tibia zusammen. Von der sehr grossen Gelenkfläche, welche das untere Ende des Femur trägt, ist jedoch ein Theil bei der Gelenkbildung nicht direkt betheiligt und deshalb vorläufig von der Untersuchung auszuschliessen. Es ist dieses die auf der vorderen Seite dieses Gelenkendes gelegene Rolle, welche der Patella als Rutschfläche dient.

Der übrige Theil der Gelenkfläche, welcher mit der Tibia zusammen das Kniegelenk im engeren Sinne bildet, besteht aus zwei vollständig von einander getrennten Flächen, deren je eine auf einem der beiden durch die *fossa intercondylica* geschiedenen Kondyli gelegen ist. Nach vornen grenzt sich eine jede dieser beiden Flächen gegen die Patella-Rolle durch eine quergehende Rinne ab, welche durch den Druck des ihr anliegenden Semilunar-Knorpels hervorgebracht ist. — Diesen beiden Flächen gegenüber liegen zwei ebenfalls vollständig von einander geschiedene Gelenkflächen der Tibia, zwischen welchen sich die *eminentia intermedia* erhebt. — In dem eigentlichen Kniegelenke sind demnach zwei Gelenke mit einander verbunden, ein inneres und ein äusseres, welche sowohl in anatomischer Beziehung als auch in Beziehung auf ihre mechanische Bedeutung streng auseinander zu halten sind. In jedem derselben befindet sich ein Meniskus in Gestalt eines Semilunarknorpels und auch diese haben in den beiden Gelenken eine verschiedene Bedeutung.

Sieht man die beiden Kondylen des Femur von unten her an, so erkennt man in denselben auf den ersten Blick einen beträchtlichen

Unterschied. Der äussere Kondylus ist in der Richtung von vornen nach hinten gerade und kürzer, während der innere in derselben Richtung länger und gebogen erscheint. Diese Biegung des inneren Kondylus scheint eine vollständig gleichmässige zu sein, so dass dadurch diesem Kondylus ein von demjenigen des äusseren Kondylus sehr verschiedener Charakter aufgeprägt wird. Genauerer Vergleich beider Kondylen lässt aber doch eine grössere Uebereinstimmung zwischen denselben erkennen, als man vermuthen sollte. Nimmt man nämlich die Profilkurve beider Kondylen auf und vergleicht dieselben mit einander, so findet man, dass in dem hinteren Theile des inneren Kondylus die Profilkurve des ganzen äusseren Kondylus genau wiedergegeben ist, — so dass also auf diese Art beide Kondyli als gleichgestaltet zu erkennen sind. Nur der vordere Theil des inneren Kondylus ist hierdurch als etwas Besonderes hingestellt; es ist das derjenige Theil, von welchem man, wenn man einmal auf ihn aufmerksam geworden ist, leicht sieht, dass er in einem Bogenwerth von etwa 60° den inneren vorderen Theil der *fossa intercondylica* umgreift. Die Anfügung dieses besonderen Theiles und der allmälige Uebergang desselben in den hinteren Haupttheil des inneren Kondylus gibt diesem letzteren seine gebogene Gestalt. Die erkennbare Abscheidung dieses Theiles ist indessen in verschiedenen Individuen verschieden, so dass er sich in dem einen mehr, in dem anderen weniger abzeichnet.

Die Gestalt beider Kondylen und die Beziehung dieser Gestalt zu dem Mechanismus des Kniegelenkes lässt sich verschieden auffassen. Sicher ist jedenfalls, dass die prominirendeste Linie der Wölbung beider Kondylen an Länge verschieden ist, und zwar ist diejenige des inneren Kondylus länger, als diejenige des äusseren. Denkt man die Tibia als ruhend und setzt die hintersten Punkte der beiden Kondylen des Femur auf die Mitte der beiden Gelenkflächen der Tibia, so befindet sich das Femur in einer gebeugten Stellung, so dass der Winkel zwischen ihm und der Tibia etwas weniger, als einen rechten beträgt. Führt man nun die Streckung zwischen beiden Knochen aus, so steht am Ende derselben die Rinne zwischen dem Kondylus und der Patellarolle jederseits auf dem vorderen Theile des Semilunarknorpels und damit über dem vorderen Rande der beiden Gelenkflächen der Tibia und jene Punkte der Tibia, auf welchen in der Beugung die hinterste Wölbung der Femur-Kondylen geruht hatte, sind jetzt gleich weit von den vordersten Enden beider Kondylen entfernt. Es muss demnach bis zur vollendeten Streckung über den Mittelpunkt der gegenüberliegenden Tibia-Gelenkfläche in dem inneren Gelenke die längere Linie des inneren Femur-Kondylus hingegangen sein und in dem äusseren Gelenke die kürzere Linie des äusseren Femur-Kondylus.

Lässt man an dem ruhenden Femur die Tibia eine solche Streckbewegung ausführen, so findet man, dass an dem Ende derselben die Tibia eine Rotation nach aussen erlangt hat. Mit der Streckbewegung hat sich demnach eine Rotationsbewegung verbunden, welche, je nachdem man es auffassen will, den inneren Tibia-Kondylus weiter nach vornen führt, als den äusseren, oder den inneren Femur-Kondylus weiter nach hinten, als den äusseren.

Die Streckbewegung im Knie ist demnach die Resultirende der Bewegung um zwei verschiedene Axen, nämlich 1) um eine quer durch beide Femur-Kondylen gehende Flexionsaxe, und — 2) um eine longitudinale Rotationsaxe. — Hiermit ist Erklärung für die eigenthümliche Gestalt des inneren Femur-Kondylus gegeben, denn es ist unschwer zu erkennen, dass die Krümmung desselben in der Richtung von vornen nach hinten der Bewegung um die erste Axe entspricht, also der Flexion und der Extension, — und dass dagegen die seitliche Krümmung desselben der Bewegung um die Rotationsaxe entspricht.

Welche Bedeutung in dieser zusammengesetzten Bewegung dem extensorischen Elemente zukommt, darüber ist nicht zu reden, denn die Begriffsbestimmung der Extremität gründet sich ja zum grossen Theil auf die Flexions- und Extensionsbewegung zwischen den beiden Haupttheilen derselben. — Für das rotatorische Element ist die Bedeutung wohl vorzugsweise in seinem Werthe für die Haltung des Beines im aufrechten Stehen zu finden. Es ist ja leicht einzusehen, dass, wenn die Extension des Kniees nothwendig mit einer Rotation des Femur nach innen verbunden ist, mit der Flexion des Kniees sich auch nothwendig eine Rotation des Femur nach aussen verbinden muss. Wird diese Rotation gehemmt, so ist damit auch zugleich die Flexion überhaupt gehemmt. In Früherem wurde nun aber gezeigt, dass im aufrechten Stehen die hinter der Hüftaxe wirkende Schwere des Rumpfes eine Gegenspannung des *ligamentum ileo-femorale* hervorruft und dass in dieser Spannung ein Element vorhanden ist, welches dem Femur eine Rotation nach innen mittheilt; da nun aber eine Beugung im Kniegelenk nur verbunden mit einer Rotation des Femur nach aussen zu Stande kommt, so muss jener rotatorische Zug des *ligamentum ileo-femorale* hemmend oder doch wenigstens sehr erschwerend für eine Beugung des Kniees werden. Es ist daher der Schluss erlaubt, dass die Hauptbedeutung des mit der Flexion und Extension verbundenen rotatorischen Elementes in der Feststellung des Knies beim aufrechten Stehen zu suchen sei.

Die Winkelgrösse der Flexions- und Extensionsbewegung bietet das interessante Verhältniss, dass in ihr eine Ueberschreitung des Grundmasses der Bewegung in sehr augenscheinlicher Weise beobachtet werden kann. Mit aller Anstrengung der Beugemuskeln ist es nämlich

nicht möglich, die Beugung im Kniegelenk so weit zu treiben, dass die Ferse das *tuber ischii* berührt, dagegen kommt dieses sehr leicht zu Stande, wenn die Beugung schleudernd mit Heftigkeit ausgeführt wird, oder wenn äussere Gewalt angewendet wird, sei es, dass man den Fuss mit der Hand anfasst und hinaufhebt, sei es, dass man in knieender Stellung die Schwere des Rumpfes an dem oberen Femurende hinabdrückend wirken lässt. Warum gerade an diesem Gelenke eine solche Ueberschreitung des Grundmasses sich so leicht erzielen lässt, hängt davon ab, dass 1) in der Beugestellung nicht eine Bänderspannung als Hemmung wirkt, sondern ein Anstossen des hinteren Randes der Tibia an das Femur, ferner davon, dass 2) um diese Anstemmung als um ein neues Hypomochlion die äusseren Gewalten an verhältnissmässig langen Hebelarmen wirken, — und 3) davon, dass, wenn auf diesem Wege ein Klaffen der vorderen Seite des Gelenkes hervorgebracht ist, der äussere Luftdruck die entstandene Lücke sehr leicht durch Hineindrängen des in grosser Menge vorhandenen Gelenkfettes unter Bildung einer Vertiefung der äusseren Haut jederseits neben dem *ligamentum patellae* ausfüllen kann. — Die Messungen der Brüder Weber[1]) fanden beim Lebenden, welcher durch seine Beugemuskeln die Kniebeugung ausführte, eine Exkursion der Tibia von 136,5^{0} und 153,1^{0}, — an der Leiche, an welcher sie durch äussere Gewalt die Beugung erzielten, fanden sie dagegen die Exkursion der Tibia 156^{0}, 166^{0} und 172^{0}. Diese letzteren grösseren Zahlwerthe sind sicher auf Rechnung der Uebertreibung des Grundmasses zu setzen, und die Möglichkeit für diese ist dann durch Vergleichung dieser Zahlen auf etwa 20^{0} zu setzen.

Ausser der oben angeführten, mit der Flexions- und Extensionsbewegung verbundenen rotatorischen Bewegung findet im Kniegelenke noch eine andere Rotation statt, welche nur in dem gebeugten Kniegelenke möglich ist. Diese Rotation geschieht um eine in der Längenrichtung der Tibia gelegene Axe, welche in ihrer Fortsetzung in den inneren Femur-Kondylus geht. Um diese Axe drehen sich bei gebeugtem Kniegelenk die beiden Femur-Kondylen, indem ihre hinten am Meisten hervorragenden Wölbungen, welche in der Beugung die Tibia-Kondylen berühren, auf diesen hin- und herrutschen und zwar der eine nach vornen, während der andere nach hinten rutscht. Die Bewegung des äusseren Kondylus ist dabei erheblich beträchtlicher als diejenige des inneren Kondylus. Ist bei diesen Bewegungen das Femur ruhend und die Tibia der bewegte Theil, so entsteht dadurch eine Führung der Fussspitze nach innen (Rotation des Unterschenkels nach innen) oder nach aussen (Rotation nach aussen). Bei verschiedenen Beugungsgraden des

1) Mechanik der Gehwerkzeuge. S. 171.

Kniees sind die gegenseitigen Verhältnisse der Grösse beider Arten von Rotation sehr verschieden. Die Rotation nach innen geht in allen Beugegraden des Kniees gleich weit, so weit nämlich, bis die Mittellinie der Fusslänge zu einer der Mittelebene des Körpers parallelen Linie eine Winkelstellung von 5⁰—10⁰ erlangt. Die Rotation nach aussen ist dagegen in um so höherem Grade möglich, je stärker die Kniebeugung ist; zwischen den beiden eben bezeichneten Linien fand ich in verschiedenen Beugungsgraden folgende Winkelstellungen für die Rotation nach aussen [1]:

Beugungswinkel des Kniees.	Rotationswinkel.
150⁰	32⁰
120	33
90	42
60	52

Die Bedeutung dieser Rotationsmöglichkeit kann natürlich nur bei solchen Stellungen oder Bewegungen hervortreten, in welchen eine Kniebeugung vorhanden ist; — und sie dürfte deshalb wohl darin zu finden sein, dass mit ihrer Hülfe ein Knieen und ein Hocken in verschiedenen Stellungen des Fusses möglich ist, — und ausserdem kann dieselbe für die Aequilibrirung im Gang mit stärker gebogenen Knieen benutzt werden (vgl.: der Gang).

B. Die Kondylen des Femur und die Flexion und Extension.

Es ist nun zu untersuchen, wie diese verschiedenen Bewegungen in Beziehung stehen zu dem Bau des Gelenkes und ist dabei wieder von der Gestalt der Kondylen des Femur auszugehen.

Die erste Frage richtet sich hierbei auf den unreinen Charakter der Flexions- und der Extensionsbewegung und das in diesen enthaltene rotatorische Element. — Oben wurde bereits gezeigt, wie dieses letztere in der gebogenen Gestalt des inneren Femur-Kondylus begründet ist und es fragt sich nur, in welcher Weise sich diese Gestalt hierfür geltend macht. — In einer sehr sorgfältig durchgeführten Arbeit hat Langer [2] gezeigt, wie die gemeinschaftliche Flexionsaxe der beiden Femur-Kondylen während der Beugung (beziehungsweise Streckung) eine bei aufrecht stehender Tibia horizontale Drehung um einen zwischen beiden Kondylen gelegenen Punkt erfährt. Er hat damit das Verhalten beider Kondylen während dieser Bewegungen in sehr genügender Weise erläu-

1) Vgl. I. 3. S. 534—535.
2) Sitzungsberichte der Wiener Akademie 1858. — Bd. XXXII. S. 99 ff.

tert und gezeigt, dass das rotatorische Element auf die ganze flexorische (beziehungsweise extensorische) Bewegung vertheilt ist, allerdings aber am Schlusse der Streckung und im Beginne der Beugung am Schärfsten hervortritt. — Die Richtigkeit dieser Darstellung vollkommen und gerne anerkennend, glaube ich jedoch, dass es für die erste Auffassung dieser Verhältnisse und für einfachere Uebersicht über dieselben es angemessen ist, die beiden Elemente jener unreinen Bewegungen auch zeitlich aus-einander zu halten und als nach einander geschehend aufzufassen, wie ja auch die Mechanik, um die Lagenveränderung einer Linie leicht verständlich darzustellen, derselben erst eine seitliche Verschiebung und dann eine Drehung um einen festgestellten Endpunkt werden lässt. — Für das Kniegelenk wird eine Darstellung dieser Art sehr wesentlich unterstützt durch die Gestalt der einzelnen Kondylen. — Ich habe oben bereits angegeben, dass in der Profilkurve des inneren Kondylus der grössere hintere Theil vollständig kongruent der Profilkurve des ganzen äusseren Kondylus ist, während der vordere Theil der Kurve des inneren Kondylus seine eigenen Gestaltungsgesetze hat. Die Profilkurven bezeichnen aber die Linie der grössten Entfernungen in radialer Richtung von der Axe und zwar in einer auf diese Axe senkrechten Ebene. Wenn nun die Kurven beider Kondylen kongruent sind, so müssen sie sich bei einer Bewegung um ihre Axe von einer sie stützenden Ebene in gleichmässiger Weise abwickeln, wobei die Möglichkeit einer gleichzeitigen Drehung der Axe in einer der Stützebene parallelen Ebene nicht ausgeschlossen ist. — Es ist also nicht zu bezweifeln, dass die beiden Kondylen, wenn sie auf der feststehenden Tibia aus extremer Beugestellung in die Streckung geführt werden, ihre Profilkurven in ganz gleichmässiger Weise über die gegenüber liegenden Gelenkflächen der Tibia hinrollen lassen. Wir denken uns diese Bewegung so ausgeführt, dass dabei beide Profilkurven parallel der Mittelebene des Körpers geführt werden. Das Ende der Bewegung wird dann eingetreten sein, wenn die vordere Grenzrinne des äusseren Kondylus sich auf den vorderen Theil des zugehörigen Semilunar-Knorpels stützt. Die rein extensorische Bewegung des äusseren Kondylus ist damit vollendet, und der innere Kondylus hat eine gleich grosse Bewegung ausgeführt, für welche ihm der grössere hintere dem äusseren Kondylus kongruente Theil massgebend geworden ist.

Nun ist aber noch der vordere Theil des inneren Kondylus übrig und für die Vollendung der Streckbewegung muss auch dieser noch seine Bewegung über der inneren Gelenkfläche der Tibia ausführen. — Die Bewegung dieses Theiles des inneren Kondylus muss aber in zweierlei Beziehung Verschiedenheiten von den vorher besprochenen Flächen zeigen, erstens nämlich in dem Charakter der Bewegung und dann in

der Richtung der Bewegung. — Was den Charakter der Bewegung angeht, so war dieser für die reine Flexions- oder Extensionsbewegung ein zugleich rollender und schleifender, eine Art der Bewegung, welche statt genauerer Beschreibung am Besten durch einen Vergleich erläutert wird; es ist die Bewegung eines Rades, welches eine schlüpfrige Anhöhe hinaufrollen soll und einen Theil der durch das Rollen gewonnenen Bewegung durch Ausgleiten wieder verliert, so dass es ohne entsprechende Vorwärtsbewegung um seine Axe rotirt; — der vordere Theil des inneren Kondylus muss dagegen, da vor ihm eine Fläche, über welche er hinrollen könnte, nicht mehr vorhanden ist, nur eine gleitende oder schleifende Bewegung auf der gegenüberliegenden Tibia-Gelenkfläche ausführen. — In Bezug auf die Richtung der Bewegung ist darauf aufmerksam zu machen, dass der fragliche vordere Theil der Gelenkfläche des inneren Kondylus in der Stellung, welche das Femur nach Vollendung der oben besprochenen reinen Streckbewegung einnimmt, sich nach oben und aussen wendet. Wird nun die Bewegung in der Streckrichtung fortgesetzt, so muss dieser Theil des inneren Femur-Kondylus, während er über den inneren Tibia-Kondylus hingleitet, eine doppelte Richtung der Bewegung zeigen. Man kann nämlich jene Richtung der Gelenkfläche und damit die davon abhängige Richtung der Bewegung in zwei Komponenten zerlegen, von welchen die eine eine Fortsetzung der reinen extensorischen Bewegung gibt und die andere ein neues Element einführt, durch welches der vorderste Theil des inneren Kondylus nach innen geführt wird, indem er sich um einen in dem Inneren des Kniegelenkes liegenden Punkt, oder um eine das Kniegelenk durchsetzende Axe dreht. Dieser Theil der Gelenkfläche des inneren Kondylus des Femur ist es also, welcher jene oben besprochene Schlussrotation in der Streckung bedingt.

Natürlich kann aus nahe liegenden Gründen der innere Kondylus nicht für sich allein eine solche Drehbewegung ausführen. Der unbeweglich mit ihm verbundene äussere Kondylus muss diese Bewegung theilen und zwar im entgegengesetzten Sinne. Während nämlich durch diese Drehung die hintere Kuppe des inneren Kondylus stark nach hinten hinausgedrängt wird, wird der äussere Kondylus etwas nach vornen geführt und dabei zugleich mit seiner der *fossa intercondylica* zugewendeten Seite gegen die *eminentia intermedia tibiae* hingedrängt. Die Fläche, mit welcher er alsdann die *eminentia* berührt, ist eine deutlich ausgesprochene nach vornen breitere Facette an der der *fossa intercondylica* zugewendeten Seite. — Bei der Auflösung der Schlussrotation im Beginne der Beugung findet selbstverständlich die umgekehrte Doppelbewegung statt, indem die Beugung damit beginnt, dass der innere Kondylus nach vornen und der äussere nach hinten verschoben wird.

Massgebend für die Schlussrotation und die Auflösung derselben erscheint das *ligamentum cruciatum posterius*, welches während derselben stark gespannt ist und dadurch seinen Anheftungspunkt an dem *condylus internus femoris* so fixirt, dass derselbe während beider Bewegungen als der, wenn nicht absolut ruhende, so doch am Wenigsten bewegte Punkt an dem unteren Ende des Femur erscheint.

Anmerkung 1. Die eben gegebene Darstellung des in der Extensions- und Flexions-Bewegungen des Kniegelenkes enthaltenen rotatorischen Elementes ist etwas scharf schematisirt. Die Gründe dafür, diese Darstellung zu wählen, waren die folgenden: 1) nämlich gewährt es eine deutlichere Uebersicht über zusammengesetzte Bewegungen, wenn man die einzelnen Elemente derselben getrennt hinstellt und sie dann ohne Rücksicht auf etwaige gleichzeitige Wirkung in zeitlicher Aufeinanderfolge auftreten lässt, — 2) zeigt sich auch in Wirklichkeit insofern eine solche Scheidung der beiden fraglichen Elemente in Bezug auf die Zeit, als die Drehung am Schlusse der Streckung und deshalb auch im Anfange der Beugung mit grösserer Entschiedenheit auftritt. Langer, welcher die allerdings als das Typische anzusehende Vermengung beider Elemente in seiner Darstellung geschildert hat, spricht sich selbst in diesem Sinne aus. — Hierdurch ist also einerseits gewissermassen eine direktere Aufforderung gegeben für Anwendung jener in der Mechanik sehr gebräuchlichen Methode der Analyse, — andererseits aber ist die gesonderte Auffassung dieser stärkeren Drehbewegung am Ende der Streckung angemessen und sogar nothwendig, weil in derselben ein Princip der Feststellung von Gelenken niedergelegt ist, welches als »Schlussrotation« bezeichnet werden kann und eine ziemlich allgemeine Verbreitung zu besitzen scheint.

Anmerkung 2. In dem Sinne des soeben Gesagten habe ich bereits in den Studien über das Kniegelenk, welche ich in I. 3 veröffentlicht habe, den fraglichen vorderen Theil des inneren Femur-Kondylus als eine Gelenkfläche von getrennter Bedeutung hingestellt. Zu ihrer Charakteristik habe ich die durch sie gegebene extensorische (beziehungsweise flexorische) und rotatorische Bewegung als eine einheitliche zusammengefasst und für sie durch annähernde Schätzung eine Axe aufgestellt, welche »in der aufrechten Stellung unter einer Neigung von ungefähr 45° gegen den Horizont durch den vorderen Theil der *eminentia intermedia tibiae* in den *condylus externus tibiae*« geht. Dieselbe Auffassung ist auch mit deutlichen Worten, wenn auch kurz, in meinem Lehrbuche der Anatomie wiederholt. — Obgleich an beiden Orten noch dazu durch erläuternde Zeichnung angegeben ist, welcher Theil des inneren Kondylus in dieser Beschreibung gemeint ist, hat sich Henle doch veranlasst gefunden, meine Schilderung falsch zu verstehen und mir geradezu eine Albernheit in den Mund zu legen [1]), und Henke

1) Die Unebenheit, welche der mediale Condylus in Folge des Abdruckes der Bandscheibe zeigt, hat H. Meyer veranlasst, dem Kniegelenk einen complicirteren Bau, dem medialen Condylus eine besondere Rotationsgelenkfläche, dieser Fläche eine besondere Axe zuzuschreiben, die von M. sogenannte schiefe Axe des Kniegelenks, um welche der Unterschenkel im letzten Moment der Streckung lateralwärts rotiren soll.

findet es ganz natürlich, dass HENLE in diese falsche Auffassung gerathen sei[1]. — HENKE übersieht aber dabei, dass er selbst und andere (z. B. LANGER, GOODSIR[2]) die Sache ganz richtig verstanden haben, und dass sogar HENLE selbst die richtige Auffassung meiner Beschreibung sehr genau kannte[3]).

C. Die Kondylen der Tibia und die Rotation in der Beugung.

Für das richtige Verständniss der in der Beugung möglichen Rotation des Kniegelenkes ist es nothwendig, erst noch die Krümmung der beiden Femur-Kondylen genauer anzusehen, mit Ausschluss indessen der vorher besprochenen vorderen Abtheilung des inneren Kondylus.

Auf den ersten Anblick bieten diese Kondylen das Bild einer Spirale dar und in diesem Sinne wurden dieselben auch von den Brüdern WEBER aufgefasst. Eine andere Auffassung für dieselben vermag ich auch nicht zu geben; jedoch muss ich von der Darstellung, welche diese gegeben haben, in einem Punkte sehr wesentlich abweichen. Dieselben finden nämlich einen sehr raschen Wechsel des Krümmungs-Halbmessers, so dass sie eine Reihe von nicht weniger als acht Krümmungshalbmessern zur Charakteristik der Spirale hinstellen. Ich finde dagegen nur zwei Krümmungs-Halbmesser; zu dem einen von diesen, dem kürzeren, gehören 120° an der hinteren Kuppe jedes Kondylus, — und zu dem anderen, dem längeren, gehören die an diese sich anreihenden 40° der flacheren unteren Krümmung. Beide Radien verhalten sich zu einander ungefähr wie 4 zu 7. — Für die genauere Motivirung dieser Auffassung muss ich auf I. 3 S. 499 verweisen und habe diesem nur noch beizufügen, dass die nach der dort angegebenen Weise gewonnenen Kurven beider Kondylen sich genau

Es ist übersehen, obschon die Zeichnung es angibt, dass auf dem lateralen Condylus der gleiche, wenn auch kleinere Eindruck sich findet. — HENLE, Bänderlehre. S. 132.

1) Zeitschrift für rationelle Medicin von HENLE u. PFEUFER. Dritte Reihe. Bd. VIII. S. 94.

2) Edinburgh medical Journal. No. 1. Juli 1855.

3) Sein (des inneren Condylus) vorderer Theil wendet sich bogenförmig nach aussen, so dass seine Concavität nach der *fossa intercondyloidea* sieht. Die Krümmung dieses Theils betrachtet MEYER als den abgerundeten Rand der Basis eines Kegels, dessen Spitze bei aufrechter Stellung in dem *cond. ext. tibiae* gelegen, dessen Axe demnach von oben, vorn und innen nach unten, hinten und aussen gerichtet ist. Nach annähernder Bestimmung hat der Bogen dieser Fläche etwa 60° etc. Die Gestalt der Gelenkflächen bedingt im letzten Augenblick der Streckung des Unterschenkels eine Rotation desselben, wodurch sich die Fussspitze seitwärts wendet. — HENLE, Cannstatt's Jahresbericht über 1854. S. 83. (Bericht über meinen Aufsatz: Die Mechanik des Kniegelenks in MÜLLER's Archiv 1853.)

decken, wodurch also ihre Kongruenz gezeigt wird, — und dass die nach Massgabe der gegebenen Zerlegung mit dem Zirkel ausgeführten Zeichnungen jene Zeichnungen ebenfalls decken, womit hinlänglicher Beweis für die Richtigkeit der Zerlegung gegeben ist. Die bezeichnete Profilkurve ist der einzige Theil der Kondylen, welcher massgebend für die Bewegung derselben auf der Tibia ist, und von deren Gestalt sich deshalb auch die Form dieser Bewegung allein ableiten lässt, denn derjenige Theil der Gelenkfläche, dessen Charakter durch dieselbe ausgesprochen wird, nämlich der mittlere, prominirendste, tritt allein mit der Tibia selbst in Berührung. Die seitlichen Theile eines jeden Kondylus sind in ihrer Gestaltung durch die Anlagerung der Semilunarknorpel und durch Berührungen mit der *eminentia intermedia* beeinflusst.

Wenn die Femur-Kondylen mit ihrer hinteren Kuppe auf der Tibia stehen, so haben sie die kleinste Berührungsfläche mit dieser und deswegen auf dieser die grösste Bewegungsmöglichkeit; da aber beide Kondylen unbeweglich mit einander verbunden sind, so können ihre hinteren Kuppen nur solche Bewegungen ausführen, in welchen sie mit einander gehen können. Bewegungen, welche dieser Anforderung entsprechen, sind aber nur von zweierlei Art; es sind nämlich 1) die flexorischen, beziehungsweise extensorischen, und 2) rotatorische.

Die flexorischen und extensorischen Bewegungen sind in dem Früheren schon besprochen, daher ist bei denselben nicht länger zu verweilen. Es ist nur jetzt, nach der oben gegebenen Zerlegung der Kondylen, in Bezug hierauf noch nachzutragen, dass die reinen Bewegungen dieser Art nach einander um zwei verschiedene Axen gehen müssen; die eine derselben geht durch die Mittelpunkte der Profilkurven der hinteren Kuppen beider Kondylen; und die andere durch die Mittelpunkte der Profilkurven der flachen unteren Abtheilung (von 40°) der beiden Kondylen. Findet reine Extension statt, so geschieht diese zuerst um die erstgenannte dieser beiden Axen und dann um die letztgenannte. — Verbindet sich, wie gewöhnlich, die Extension mit einem rotatorischen Element, so geht sie für sich ganz in der gleichen Weise vor sich, aber ihre Axen drehen sich dabei zugleich um einen zwischen beiden Kondylen gelegenen Punkt. Diese letztere Lagenveränderung der Extensionsaxe ist es, welche Langer in der oben angeführten Arbeit sehr eingehend beschrieben hat. Er nimmt dabei freilich nur eine einzige Axe an; dieses bringt indessen der Darstellung keinen Nachtheil, und im Allgemeinen lassen sich die meisten Verhältnisse des Kniegelenk-Mechanismus durch Annahme nur einer Extensionsaxe genügend scharf darstellen; — in dem Früheren ist deswegen auch immer nur eine Extensionsaxe erwähnt. Nur für gewisse Verhältnisse ist es

nothwendig die oben gegebene Zerlegung dieser Axe in zwei Axen zu berücksichtigen.

Was nun weiter die gemeinsame rotatorische Bewegung beider Kondylen in der Flexionsstellung angeht, so muss dieselbe um eine Axe geschehen, welche in ihrer Fortsetzung nach unten in der Längenrichtung durch die Tibia hindurchgeht, denn bei ruhendem Femur ist ihre Folge eine Drehung des Unterschenkels um eine ihn seiner Länge nach durchziehende Linie. In dem unteren Theile des Femur könnte die Axe ohne Beeinträchtigung ihrer Bedeutung dreierlei Lage haben, entweder in dem inneren Kondylus, oder in dem äusseren, oder zwischen beiden. Wie sie aber auch liegen möge, so hat sie in der Tibia eine unveränderliche Lage und deren obere Gelenkflächen findet man auch ihr entsprechend gestaltet.

Die Gelenkfläche auf dem äusseren Kondylus der Tibia hat eine entschieden kegelförmige Gestalt und die Spitze des Kegels, welchem sie angehört, ist in der *eminentia intermedia* zu suchen. — Die Gelenkfläche auf dem inneren Kondylus erscheint mehr vertieft und in der Richtung von vornen nach hinten mehr langgestreckt. Sie erscheint deswegen mehr als eine *cavitas glenoides*, aber sie erhebt sich doch gegen die *eminentia intermedia* hin und bekömmt dadurch wenigstens an dieser Seite noch einen entschieden kegelförmigen Charakter. — Durch diese Gestaltungen ist genügend der Hinweis darauf gegeben, dass der Mittelpunkt der Rotation in der *eminentia intermedia* zu suchen ist, dass also die Axe, um welche dieselbe geschieht, mit der Mittellinie (Axe) der Tibia zusammenfällt und über die *eminentia intermedia* nach oben hervortretend zwischen den beiden Kondylen des Femur gelegen ist. — Wenn man aber die ausgesprochenere Kegelgestalt des äusseren Tibia-Kondylus beachtet und bei der Untersuchung der Rotation an einem Präparate findet, dass dabei der äussere Femurkondylus die grösseren Exkursionen macht, so wird man dadurch darauf geführt, die Axe näher dem inneren als dem äusseren Kondylus des Femur zu suchen und allerdings scheint es, so weit hier das blose Ansehen massgebend sein kann, dass jene Axe die Anheftungsstelle des *lig. cruciatum posterius* an dem inneren Femurkondylus trifft.

D. Verbindung beider Bewegungsarten.

Es kann nun noch die Frage entstehen, wie eine entsprechende sich ja auch schon in Bezug auf die Schlussrotation aufgedrängt hat, die Frage nämlich, in wie weit die in der Kniebeugung mögliche Rotation als eine selbstständige Bewegung angesehen werden dürfe.

In dem Früheren wurde bereits darauf aufmerksam gemacht, dass das *ligamentum cruciatum posterius* als massgebender Mittelpunkt für die Schlussrotation anzusehen sei, oben musste nun auch in Bezug auf die Rotation in der Beugung ihm eine gleiche Rolle zugetheilt werden. Beobachtet man nun dieses Band während der Flexions- und der Extensionsbewegung, so findet man, dass es während derselben ebenfalls stets gespannt ist, dass es also auch hierbei einen beständigen festen Anhaltspunkt gewährt. — Die Möglichkeit dafür, dass in diesen drei Verhältnissen immer dasselbe Band massgebend werden kann, ist in dem grossen, flächenhaften Ansatze zu finden, durch welchen es geschehen kann, dass stets irgend ein Theil seiner Fasern gespannt ist. — Berücksichtigt man nun ferner, dass durch den Gestaltungscharakter des inneren Femur-Kondylus bereits eine mit der Lösung der Schlussrotation beginnende Rotation der Tibia nach innen in die Beugebewegung eingeführt ist, und dass die in der Beugung mögliche Rotation nach innen sich, wie oben gezeigt, stets in denselben bestimmten und engen Grenzen hält, — so findet man sich aufgefordert anzunehmen, dass die in der Beugung geschehende Rotation nach innen sich ganz naturgemäss an die Flexionsbewegung des Kniegelenkes anschliesst und einen integrirenden Bestandtheil derselben bildet. Man hat dabei es demnach in der Hand, in dieser Gesammtbewegung im Interesse klarerer Uebersicht die drei Elemente: Schlussrotation, reine Flexion und Rotation in der Beugung schematisirt zu scheiden und als selbstständige, in zeitlicher Reihenfolge einander ablösende Akte anzusehen.

Die Rotation der Tibia nach aussen reiht sich indessen nicht an eine andere Bewegung an und kann deswegen nicht als integrirender Bestandtheil einer solchen aufgefasst werden. Sie tritt demnach als etwas Neues und Selbstständiges in der Beugung auf.

Sollen wir uns nun als Ergebniss der bisher geführten Untersuchung ein möglichst einfaches Bild über den Mechanismus des Kniegelenkes machen, so würde es das folgende sein:

1) Massgebend für Beugung und Streckung ist allein der innere Femur-Kondylus,
2) mit beiden eben genannten Bewegungen ist eine Rotation der Tibia um ihre eigene Mittellinie (Axe) verbunden, welche bei der Beugungsbewegung als Rotation nach innen, — bei der Streckbewegung als Rotation nach aussen erscheint. — Am Anfange und am Schlusse der Beuge- und der Streckbewegung tritt das rotatorische Element schärfer hervor;
3) bei festgestellter Tibia ist die Rotation in dem Femur erkennbar, natürlich aber im umgekehrten Sinne von demjenigen, wie es eben von der Tibia angegeben wurde; es verbindet sich nämlich

mit der Streckung eine Rotation des Femur nach innen, — und mit der Beugung eine solche nach aussen;

4) als neues, selbstständiges Element tritt in der Beugung die Rotation der Tibia nach aussen auf, — bei ruhendem Femur wird dadurch die Fussspitze nach aussen geführt, — und bei ruhender Tibia der Trochanter ebenfalls nach aussen;

5) massgebend für diese Rotation ist die Gestalt des *condylus externus tibiae,* — und dieselbe wird um so freier und in um so umfassenderer Weise möglich, je mehr dem *condylus internus femoris* durch Erhebung auf seine hintere Kuppe Spielraum in seiner *cavitas glenoides* gegeben ist, so dass er der Rotation kein Hinderniss bietet und selbst, wenn auch in geringerem Grade, daran Theil nehmen kann;

6) der *condylus externus femoris* findet demnach seine hauptsächlichste Bedeutung in der Rotation der Tibia nach aussen, — beziehungsweise der Rückführung derselben in die Schlussstellung der Beugung, wie sie in 2) aufgefasst ist; — daneben gestattet aber seine Gestaltung auch Theilnahme an den Flexions- und Extensionsbewegungen mit dem in diesen enthaltenen rotatorischen Elemente.

E. Die Bänder und die Menisken des Kniegelenkes.

Nachdem obenstehende Sätze gewonnen sind, ist es auch möglich die Bänder des Kniegelenkes in Bezug auf ihren Einfluss auf den Mechanismus desselben zu verstehen.

Die einfachste Zerlegung derselben schliesst sich an die Zerlegung des Kniegelenkes in zwei neben und mit einander wirkende Gelenke von wesentlich dem gleichen Hauptcharakter an. — Da der Ginglymuscharakter doch der Grundzug in der Bildung beider Gelenke ist, so hat jedes derselben auch, diesem entsprechend, zwei Lateralbänder; es gehören nämlich als solche

zu dem inneren Gelenke — das *lig. laterale genu internum* und das *lig. cruciatum posterius,*

zu dem äusseren Gelenke — das *lig. laterale genu externum* und das *lig. cruciatum anterius.*

Es ist von Interesse zu sehen, dass die beiden Lateralbänder des inneren Gelenkes in keiner Stellung schlaff sind, während diejenigen des äusseren Gelenkes in der Beugung sehr schlaff sind. — Dieser Umstand weist wieder darauf hin, dass das innere Gelenk, als das gesichertere, für die Bewegungen auch das massgebende sei.

Von den beiden Bändern des inneren Gelenkes ist das *lig. cruciatum posterius* oben schon mehrfach berücksichtigt und als ein stets gespanntes bezeichnet. Vollständige Spannung in allen Theilen zeigt dieses Band in der stärksten Einwärtsrotation der Tibia in der Beugung, also am Schlusse der oben unter 2) aufgestellten zusammengesetzten Beugung; — in der einfachen Beugung ohne jene Einwärtsrotation sind die hinteren Stränge stärker gespannt — und in der Streckung die vorderen.

Durch eine eigenthümliche Vorrichtung ist dafür gesorgt, dass das *ligamentum laterale genu internum* stets angespannt ist. Dasselbe ist nämlich an dem inneren *condylus femoris* an dem Endpunkte derjenigen Flexionsaxe angeheftet, welche der Krümmung der hinteren Kuppe des Kondylus angehört; — an der Tibia findet es aber seine Anheftung sehr tief unten. Es besitzt deswegen eine sehr beträchtliche Länge und daher eine beträchtliche Beweglichkeit. Da nun sein Anheftungspunkt an dem *condylus internus* des Femur in den Beugungen und Streckungen ziemlich weite Exkursionen nach vorwärts und rückwärts macht, so ist das Band wegen seiner Länge auch im Stande, diesen Verschiebungen zu folgen und rutscht dabei auf der Innenfläche des inneren Kondylus der Tibia hin und her. Diese Fläche der Tibia zeigt diesem entsprechend auch eine auffallende Glattheit und Rundung, welche fast an eine Gelenkfläche erinnert. — Da jener Anheftungspunkt an dem Kondylus bei diesen Bewegungen immer auf gleicher Höhe über dem Rande der Tibia bleibt, bleibt auch das Band als Ganzes immer gespannt, jedoch sind in der Streckungsstellung seine hinteren und in der Beugungsstellung seine vorderen Stränge mehr gespannt.

Die beiden Lateralbänder des äusseren Kniegelenkes sind vor den eben angeführten dadurch ausgezeichnet, dass sie an dem *condylus externus femoris* sehr weit hinten angeheftet sind und dass sie eine sehr verschiedene Richtung haben, das *ligamentum laterale genu externum* geht nämlich in der Streckstellung gerade nach oben, während das *lig. cruciatum anterius* einen sehr entschieden nach hinten gerichteten Verlauf besitzt. Diese verschiedene Richtung weist darauf hin, dass beide eine verschiedene Funktion haben müssen und die Untersuchung bestätigt dieses auch.

In der Streckstellung sind alle vier Bänder gespannt und werden Hemmung. Ihre stärkste Spannung erhalten sie erst durch die mit derselben verbundene Schlussrotation, insbesondere sind es die beiden Bänder des äusseren Gelenkes, welche hierdurch überhaupt erst eine entschiedene Spannung erhalten und zwar hauptsächlich wegen der damit verbundenen Hebung der hinteren Kuppen der Kondylen.

In der Beugestellung mit Rotationsschluss nach innen sind die beiden Bänder des inneren Gelenkes gespannt; — sie werden aber nicht hemmend. — Der Hemmung dient ein Kräftepaar in Gestalt des Gegenzuges zweier Bänder. Das bedeutendste derselben ist das *lig. cruciatum anterius*, welches theilweise durch Gegenzug wirkt, theilweise durch Seitendruck, indem es sich an das *lig. cruciatum posterius* andrängt. Das zweite Band ist ein kleineres, welchem die Bedeutung eines Hemmungsbandes für die Rotation nach innen als Hauptfunktion zuzukommen scheint, das *ligamentum laterale internum posterius*.

Bei der in der Beugestellung ausgeführten Rotation nach aussen bleiben die beiden Bänder des inneren Gelenkes gespannt, das *lig. cruciatum anterius* ist erschlafft, dagegen aber das *lig. laterale genu externum* stark gespannt. Dieses und das *lig. cruciatum posterius* werden hemmend.

Die beiden Semilunar-Knorpel, welche in dem Kniegelenke als Menisken angetroffen werden, zeigen, wie die beiden Gelenke, welchen sie angehören, eine beträchtliche Verschiedenheit.

Das innere Gelenk, dessen Bewegungen als die massgebenden dastehen, findet in der Gestalt des *condylus internus femoris* vollständige Erklärung für alle Einzelheiten dieser Bewegungen; — ein Meniskus kann daher ein neues Element nicht hereinbringen. Ist es hieraus schon zu erschliessen, dass der *cartilago semilunaris interna* eine wichtige ergänzende Bedeutung nicht zukomme, so wird dieses noch mehr bestätigt durch die Beobachtung, dass dieselbe überhaupt gar keine grosse Beweglichkeit hat und auch nicht haben kann, indem sie in einem langgezogenen Bogen von dem vordersten Punkte der *eminentia intermedia* zu dem hintersten Punkte derselben hingeht und daneben erst noch eine ziemlich breite Ursprungsanheftung an dem vorderen Rande des *condylus internus tibiae* besitzt. — Ihre Bedeutung wird aber alsbald deutlich, wenn man berücksichtigt, dass in seinen Bewegungen auf der Tibia der *condylus internus femoris* sehr verschieden gestaltete Theile seiner Oberfläche mit der *cavitas glenoides* der Tibia in Berührung bringt. Der tiefste Punkt dieser Theile wird allerdings in allen Fällen die *cavitas glenoides* selbst berühren müssen, aber diese kann nicht zu allen übrigen Gestaltverhältnissen der jeweilig gegenüberliegenden Femur-Kondylus-Fläche passen. — Diesen Mangel gleicht der Semilunarknorpel des inneren Kniegelenkes aus, indem er gewissermassen als ein *labrum cartilagineum* der *cavitas glenoides* dasteht und zwar als ein solches von ganz besonderer Akkommodationsfähigkeit, welche darin begründet ist, dass er eine freie Beweglichkeit gegen den *condylus tibiae* besitzt und nicht, wie dieses zu dem Charakter des *labrum cartilagineum* gehört, an

dem Rande der Gelenkfläche, welche dadurch ergänzt wird, breit aufsitzend angewachsen ist.

Während nach dem soeben Besprochenen die Bedeutung der *cartilago semilunaris interna* als eines die Bewegung modificirenden Mittelgliedes (Meniskus) sehr zurücktritt, ist dieselbe dagegen deutlicher bei dem Semilunarknorpel des äusseren Kniegelenkes zu erkennen. Dieser Knorpel ist ja nahezu kreisförmig und nur mit geringer Unterbrechung des Kreisumfanges an die mittlere höchste Stelle der *eminentia intermedia* angeheftet. Er ist auf diese Weise in den Stand gesetzt, auf der kegelförmigen äusseren Gelenkfläche der Tibia hin und her zu rutschen, — und er rutscht auch mit dem von ihm getragenen äusseren Femur-Kondylus auf der bezeichneten Gelenkfläche, wobei sein ruhender Punkt die Anheftung an der Spitze der *eminentia intermedia* ist. Er führt also mit dem äusseren Femur-Kondylus zusammen die Bewegungen aus, welche als rotatorische Bewegungen dieses Kondylus in dem Früheren beschrieben sind, mögen es nun die selbstständigeren Rotationsbewegungen in der Beugestellung sein, oder solche Rotationsbewegungen, welche als ergänzende Bestandtheile der Flexions- und der Extensionsbewegungen auftreten. — Da hierbei der Semilunarknorpel den grössten Theil der Rutschfläche hergibt, so kann man der Wahrheit nahe sagen, dass der Semilunarknorpel als Meniskus die Artikulation in dem äusseren Kniegelenk übernehme, so weit diese rotatorisch ist, — und diese Formulirung würde auch das bestehende Verhältniss ganz wahrheitsgemäss bezeichnen, wenn der Zwischenknorpel eine geschlossene Scheibe wäre und nicht ein ringförmiger Streifen, in dessen Lumen der Femur-Kondylus doch direkt auf dem Tibia-Kondylus rutscht. — Wegen des eben erwähnten Umstandes ist es auch vollständig gerechtfertigt, wenn man, wie es LANGER gethan und wie es auch in dem Früheren geschehen ist, dem *condylus femoris* die rotatorische Rutschbewegung beimisst und ihn durch den Semilunarknorpel dabei begleitet werden lässt. Seinem Femur-Kondylus gegenüber ist dieser Semilunarknorpel, ähnlich wie dieses von dem inneren zu sagen war, ein akkommodationsfähiges *labrum cartilagineum*, oder eine akkommodationsfähige *cavitas glenoides*, in welcher vorzugsweise die Flexions- und Extensionsbewegungen des äusseren Femur-Kondylus zu Stande kommen.

Als Unterstützungsmittel für das rotatorische Rutschen des äusseren Semilunarknorpels dient die *habena* desselben (vgl. I. 3) und das nicht konstante *ligamentum intermedium*, von welchen erstere von dem inneren *condylus femoris* aus, und letzteres von dem vorderen Theile des inneren Semilunarknorpels aus einen Zug auf den äusseren Semilunarknorpel ausübt, welcher der Richtung entspricht, in welcher in der betreffenden Bewegung derselbe durch seinen Kondylus gedrängt wird. —

Bei der Einwärtsrotation erhält durch die *habena* der Semilunarknorpel einen Zug nach hinten, und durch das *ligamentum intermedium* erhält er in der Auswärtsrotation einen Zug nach vornen.

F. Die Muskeln des Kniegelenkes.

Die Muskeln des Kniegelenkes sind, dem Grundschema »Ginglymus« des Kniegelenkes angemessen, ebenfalls nach diesem Grundschema angeordnet, d. h. sie zerfallen in die zwei Gruppen der Extensoren und der Flexoren.

Von diesen zeigen die Flexoren die zusammengesetzteren Verhältnisse und zwar solche, welche mit den Eigenthümlichkeiten der durch die Gestaltung der Gelenkflächen bedingten Bewegungen in engstem Zusammenhange stehen. Unter den Flexoren des Kniegelenkes ist derjenige, welcher die einfachsten und doch charakteristischsten Formen zeigt, der *m. semimembranosus.* Er greift die Tibia an der hinteren Seite des *condylus internus* an, bewegt somit direkt zunächst das massgebende innere Kniegelenk. Seine Sehnenausbreitung an der Tibia ist der Art, dass sie divergirend die Radien ungefähr eines Viertel-Kreises darstellt; — von dieser Ausstrahlung sind die stärksten Theile die Grenzstränge, von welchen der äussere senkrecht herabgeht, und der innere in horizontaler Richtung unter dem inneren Rande des *condylus internus tibiae* in einer besonderen scharf ausgesprochenen Rinne nach vornen verläuft. Ersterer drückt die reine flexorische Bedeutung dieses Muskels scharf aus; letzterer das rotatorische Element, welches sich demselben beimengt und welches, je weiter die Beugung vorschreitet, um so mehr zur Geltung kommen muss, weil dann jener horizontale Grenzstrang mehr in die direkte Zuglinie einrückt. — Wirkung des *m. semimembranosus* allein wird demnach eine Beugung des Kniegelenkes mit maximaler Einwärtsrotation der Tibia hervorbringen; dieses ist aber diejenige Form der Beugung, welche in dem Früheren als die typische des Kniegelenkes bezeichnet wurde.

An den *m. semimembranosus* reiht sich die interessante Gruppe der drei schlanken Muskeln an, des *m. sartorius, gracilis* und *semitendinosus.* — Der gemeinsame Anheftungspunkt dieser drei Muskeln an der *crista tibiae* und der gemeinsame Verlauf ihrer Sehnen an der hinteren Seite des Kniegelenkes nöthigt dazu, diese Gruppe als ein Einheitliches, wenn man will, als einen dreiköpfigen Muskel anzusehen. — Dass die Bestandtheile dieser Gruppe kräftige Flexoren sind, ist unverkennbar; — ebenso sehr ist es aber auch in die Augen springend, dass sie eine für die Rotation nach einwärts besonders günstige Anheftung haben. Sie haben also dieselbe gemischte Funktion, wie der *m. semi-*

membranosus. — Die Eigenthümlichkeit ihrer Anordnung, dass sie nämlich hinter dem Knie, wie um eine Rolle, herumgehend in fast horizontaler Endrichtung die *crista tibiae* erreichen, rechtfertigt die Meinung, dass ihre rotatorische Wirkung zuerst in die Erscheinung treten werde. Da nun die Flexion des Kniegelenkes immer durch eine Einwärtsrotation (Lösung der Schlussrotation) eingeleitet werden muss, so ist der Gedanke naheliegend, dass die besprochene Gruppe ihre Wirkung damit beginnt, dass sie die in der Streckung vorhandene Schlussrotation auslöst, dann aber sich in ihrer Wirkung und Bedeutung vollständig an diejenige des *m. semimembranosus* anschliesst.

Diesen Muskeln steht gegenüber der *m. biceps femoris*. Er hat flexorische und rotatorische Wirkung. In der ersteren ist er Synerget der vorher besprochenen Muskeln; — in der letzteren ist er ihr Antagonist, denn er rotirt den Unterschenkel nach aussen. Seine Stellung als Rotator ist durch eine ähnliche, wenn auch weniger schön ausgesprochene, Anordnung seiner Sehne bezeichnet, wie dieses bei dem *m. semimembranosus* der Fall ist, indem nämlich ein Zipfel seiner Sehne sich in der Richtung nach vornen auf die Tibia fortsetzt.

Von Interesse für die Auffassung, dass die Flexion mit Rotation nach innen die typische sei, ist der Umstand, dass diejenigen Flexoren, welche diese Form der Flexion vermitteln, an Masse viel bedeutender sind als der *m. biceps*. Die gegenseitigen Gewichtsverhältnisse der Muskelbäuche stellen sich nach den Brüdern Weber folgendermassen:

m. sartorius	125,7
m. gracilis	82,2
m. semitendinosus . . .	128,2
m. semimembranosus . .	206,5
	542,6.

Das Gewicht des *m. biceps* mit 275,4 ist also kaum mehr als die Hälfte desjenigen seiner oben zusammengestellten Antagonisten.

An die Flexoren reiht sich der *m. popliteus* an, ein Muskel von so eigenthümlicher Anordnung, dass es schwer ist, eine annähernd wahrscheinliche Ansicht über seine funktionelle Stellung zu gewinnen. Will man seine Richtung überhaupt für die Bestimmung seiner Funktion massgebend sein lassen, so muss man ihm eine flektirende und eine (einwärts) rotirende Wirkung beimessen. Berücksichtigt man indessen, dass sein sehniger Ursprung an dem Femur ganz nahe dem Ende der Flexionsaxe des Knies ist und sogar noch etwas unterhalb derselben, so sieht man leicht ein, dass von einer flektirenden Bedeutung jedenfalls nicht gesprochen werden kann. Die Möglichkeit der rotirenden Wirkung ist also die einzige, welche man dem *m. popliteus* zuerkennen

kann, und diese kann nur eine Rotation nach einwärts für den Unterschenkel sein. In der Streckung des Kniegelenkes kann sich dieselbe nicht geltend machen und könnte hier auch höchstens die Auslösung der Schlussrotation durch die Gruppe der drei schlanken Kniebeuger unterstützen. — Dass die Wirkung des *m. popliteus* in der gebeugten Stellung hervortreten und funktionell wichtig werden muss, beweist das Vorhandensein des *sulcus popliteus* an dem äusseren Kondylus des Femur, einer sehr tiefen und glatten Rinne, in welcher bei der Beugung die Sehne des Muskels gelegen ist. — Fasst man nur diese rotatorische Wirkung ins Auge, so erscheint der *m. popliteus* als ein Unterstützer derjenigen Flexoren, welche eine Rotation nach innen als Nebenwirkung haben, insofern als er, wahrscheinlich ohne flexorische Bedeutung, die mit der Flexion verbundene Rotation nach innen unterstützt. — Ohne Zweifel gewinnt er aber auch noch eine andere Bedeutung für den Kniemechanismus. Der Sehnenstrang, welcher als Ursprungssehne desselben bezeichnet wird, geht nämlich nur theilweise in den Muskel selbst über, mit einem anderen Theile heftet er sich an das *capitulum fibulae*, und stellt dadurch ein *ligamentum laterale externum posterius* dar. Durch den Zug des *m. popliteus* muss dieses Band gespannt werden, und damit erhält die äussere Seite des äusseren Kondylus, deren Band (*lig. laterale externum anterius*) in der Beugung bei der Rotation nach innen schlaff ist, ein fixirendes straffes Band. Bemerkenswerth ist auch der sehnige Bogen (*arcus popliteus*), welcher als Abzweigung der Sehne dieses Muskels hinter dem äusseren Kondylus des Femur herumgeht und sich theils an dessen innere Seite, theils an die äussere Seite des inneren Kondylus ansetzt. An diesen Sehnenbogen inserirt sich mehr oder weniger breit der *m. popliteus* und dient dadurch wahrscheinlich dazu, bei der Beugung die Kapsel nach hinten zu ziehen und dadurch vor Einklemmung zu schützen.

Eine ähnliche Bedeutung hat ohne Zweifel die Verbindung der Sehn des *m. semimembranosus* mit dem sogen. *ligamentum popliteum*.

Die Streckmuskeln des Kniegelenkes sind zunächst die bekannte Gruppe des *m. rectus*, *cruralis*, und der beiden *vasti*, welche auch wohl als *m. quadriceps femoris* zusammengefasst wird. In die gemeinsame starke Sehne dieser Gruppe ist bekanntlich ein beträchtlicher Sehnenknochen, die Kniescheibe (*patella*), eingeschaltet, welcher während der Flexions- und Extensionsbewegungen über die vordere Seite des unteren Femur-Gelenkendes auf- und abrutscht. Diesem Rutschen dient von Seiten des Femur eine Rolle mit einer tief eingeschnittenen Führungslinie in ihrer Mitte. Der nach aussen von der Führungslinie gelegene Theil der Rolle ist länger und erhebt sich dabei zu einem grösseren Durchmesser als der nach innen gelegene Theil. Der Umfang der Rolle

hat an der inneren Seite einen Winkelwerth von 60° und an der äusseren Seite einen solchen von 80°. — Die Gelenkfläche der Patella ist aber nicht eine entsprechende Hohlrolle, sondern hat eine andere Gestaltung, indem sie auffallender Weise gerade in der Richtung, in welcher man bei ihr eine Konkavität erwarten sollte, eine Konvexität zeigt. Sie ist nämlich durch eine kreuzförmige Leiste in vier Felder getheilt. Genauere Untersuchung der beiden Bestandtheile dieser Leiste führt indessen ohne Schwierigkeit zu einer Erklärung jener auffallenden Gestaltung und vermag sie auf die allgemeinen Gesetze, mit welchen sie im Widerspruch zu stehen scheint, zurückzuführen. — Der senkrechte Theil der Leiste ist nämlich unverkennbar die vorspringende Führungslinie, welche der vertieften Führungslinie in der Rolle entspricht. Wenn dieses der Fall ist, dann müssen die Felder zur Seite der Leiste die Berührungsflächen mit den Seitentheilen der Rolle sein. Anscheinend ist nun allerdings ein jedes dieser Seitenfelder konvex und die vorspringende Führungslinie zeigt selbst diesen Charakter, aber man verliert alsbald diese Auffassung, so wie man nur einen jeden der beiden Theile, in welche die Gelenkfläche der Patella durch die quer gehende Leiste getrennt wird, für sich untersucht. Man findet dann nämlich, dass jeder für sich Theil einer Hohlrolle ist, welche der an dem Femur befindlichen Rolle genau entspricht, und man erkennt dadurch, dass die Gelenkfläche der Patella zwei Hohlrollen trägt, welche durch eine vorspringende Querleiste so getrennt sind, dass ihre Sehnen in einem nach vornen offenen Winkel gegen einander stehen. Diese eigenthümliche Erscheinung erklärt sich in folgender Weise: Die Patella hat eine absolute, unveränderliche Entfernung von der *tuberositas tibiae*, und hiernach richtet sich ihre Lage in den verschiedenen Stellungen des Gelenkes. In der Streckstellung ist die obere Hälfte der Patella ausser Berührung mit ihrer Rolle und liegt der vorderen Fläche des Femur an, — in der Beugestellung ist dagegen die untere Hälfte derselben ausser Berührung mit der Rolle und liegt in der *fossa intercondylica* und theilweise noch an den Femur-Kondylen. Diese verschiedene Lagerung erklärt sich leicht daraus, dass in der Streckung die Rolle des Femur der *tuberositas tibiae* so nahe gerückt ist, dass die Patella sie überschreiten kann und muss, — während dagegen in der Beugung die Femurrolle von der *tuberositas tibiae* so sehr nach hinten und oben entfernt ist, dass die Patella das untere Ende der Rolle mit ihrem oberen Theile gerade nur noch erreichen kann. — Man könnte schon diese Verhältnisse für Erklärung der Gestalt der Patella-Gelenkfläche verwenden; denn es ist ja unverkennbar, dass die beiden Hälften der Patella sich in ihrer Entwickelung nach denselben richten müssen, namentlich da die Patella in einer oder der anderen der beiden oben bezeichneten Ruhelagen gewöhnlich lange zu beharren

pflegt; — indessen ist es doch auch leicht einzusehen, dass die betreffenden Theilstücke der Patella-Gelenkfläche nicht erst in jenen extremen Stellungen in genaue Berührung mit der Rolle treten, und dass daher überhaupt bei einer Beugebewegung zuerst die untere Hälfte der Patellafläche auf der Rolle gleitet und dann die obere Hälfte; — bei der Rückkehr in die Streckung muss dann zuerst die obere und hierauf die untere Hälfte der Patellafläche sich an die Rolle anlegen. Der Uebergang aus der einen Berührungsweise in die andere kann wegen der Rundung der Querleiste ein ruhiger und allmäliger sein.

In Bezug auf die Anordnung der Streckmuskelgruppe ist für den Kniemechanismus der Punkt von dem meisten Interesse, dass die *tuberositas tibiae* so weit nach aussen liegt, dass sie sich unter der inneren Abtheilung des *condylus externus tibiae* befindet. Hierdurch wird in die Wirkung der Streckmuskeln eine rotatorische Richtung im Sinne der Schlussrotation eingeführt.

An die Streckmuskeln des Kniegelenkes reiht sich noch ein interessanter Apparat an, welchen ich zuerst in I. 3 beschrieben und als *ligamentum ileo-tibiale* benannt habe. Derselbe besteht aus drei in ihrem Ursprunge getrennten Elementen. Als Grundlage des Apparates kann der *m. tensor fasciae latae* angesehen werden, welcher sehr unpassend so genannt wird, da er sich nicht in die Fascie verliert, sondern mit einem breiten starken Sehnenstrang das *tuberculum tibiae* erreicht, um sich hier gemeinsam mit den anderen Elementen als ein dicker rundlicher Strang anzuheften [1]). — Das zweite Element gibt der oberflächliche Theil des *m. glutaeus maximus*, welcher mit einer flachen Sehne den Trochanter überschreitet; die Fasern dieser Sehnenausbreitung vereinigen sich mit dem vorher angeführten Sehnenstrang des *m. tensor fasciae latae*. — Das dritte Element sind fibrose Streifen, welche von der *crista ossis ilei* entspringen und sich ebenfalls dem genannten Sehnenstrange beischliessen. — Der durch diese drei Elemente gebildete mächtige Strang setzt sich an der bezeichneten Stelle der Tibia an und durch den Zug desselben kann die Streckung im Sinne der Schlussrotation vollendet und unterhalten werden.

Eine weitere wichtige Bedeutung gewinnt dieser Strang, indem ein Theil seiner vorderen Fasern sich an den äusseren Rand der Patella anheftet und ein äusserst kräftiges Retinakulum der Patella bildet, welches namentlich in der Flexion diesen Knochen fest in seine Rolle hineindrängt. — Andere *retinacula patellae* sind 1) ein inneres, vom

1) »Sehnenfasern aber, welche sich vom *m. tensor fasciae* aus zum Unterschenkel herab erstrecken sollen (*lig. ileo-tibiale* H. MEYER) kann ich nicht finden«. — HENLE, Muskellehre. S. 256.

condylus internus tibiae zum inneren Rande der *patellae* gehend, und 2) die beiden von der Tibia entspringenden, der Fascie eingewebten *ligamenta flabelliformia* (vgl. I. 3).

Die Wirkung des oben beschriebenen Apparates (*lig. ileo-tibiale*) in Verbindung mit der Schwere und dem Zuge des *ligamentum ileo-femorale* auf das Femur scheint es auch zu sein, welche die Schlussrotation in der Streckung des Kniees weiter treibt, als es der *m. quadriceps femoris* für sich ausführen könnte, weshalb in dem gestreckten Knie die Patella weiter nach innen geschoben erscheint, als es nach der geraden Richtung dieses Muskels der Fall sein sollte.

Anhang: Genu valgum.

Die beiden gewöhnlichsten Deformitäten des Kniegelenkes sind:

genu varum und
genu valgum.

Erstere Deformität scheint nur in Folge von rachitischen Einknickungen oder von rachitischen Verschiebungen der Gelenkenden herzukommen, gehört demnach nicht zu den Gegenständen dieser Untersuchungen. — Dagegen lässt sich die letztere Form ähnlich, wie die Skoliose, aus falsch geleiteten Einwirkungen der normalen Mechanismen herleiten. Es sei derselben daher hier noch mit einigen Worten gedacht.

Das *genu valgum* (X-Beine) besteht in einer mehr oder weniger stark ausgesprochenen Einwärts-Knickung des Kniegelenkes verbunden mit mangelhafter Entwickelung der äusseren Kondylen namentlich des Femur. Es ist wohl nicht anzunehmen, dass die Missbildung der Kondylen das Primäre sei; wir haben in derselben ohne Zweifel, ähnlich wie bei skoliotischen Wirbelkörpern, mangelhafte Ausbildung wegen vermehrten Druckes zu erkennen. Ist sie aber einmal vorhanden, dann ist ihr Bestehen schon für sich Grund für die Fortdauer der Deformität. — Es gilt also für Erklärung dieser Missbildung zu ermitteln, auf welche Weise Entwickelungshemmung in dem äusseren Kondylus des Femur und der Tibia bedingt werden kann. — Dass es vermehrter Druck im Alter vor der vollendeten Entwickelung sein muss, ist deutlich. Wie kommt aber solcher einseitiger Druck zu Stande? — Bäckerlehrlinge und Kellner werden als diejenigen bezeichnet, welche der genannten Deformität am Häufigsten ausgesetzt sind; — und wirklich gewähren auch die Gewohnheiten beider genügende Anhaltspunkte zur Erklärung der Erscheinung und besonderes Interesse gewährt es zu finden, dass bei der einen Klasse die statischen, bei der anderen die mechanischen Verhältnisse als Grundursache des Uebels zu erkennen sind.

Bei den Kellnern ist es eine beliebte Gewohnheit, sich auf ein Bein gestützt mit dem Rücken an die Wand zu legen und mit dem freien Beine zu tändeln. Für den Zweck der Aequilibrirung muss das gestützte Bein in Adduktion gestellt sein. Die herabsinkende Schwere drückt dann nothwendiger Weise das Bein in einem Bogen nach einwärts und muss somit gleichzeitig auf Bildung eines *genu valgum* und eines *pes valgus* hinwirken.

Bei den Bäckern ist langwieriges gebücktes Stehen nothwendig; dabei muss der Rumpf durch Muskelzug am *tuber ischii* gehalten werden. Von den hierbei thätigen Muskeln müssen die Adduktoren die Femora zugleich nach innen ziehen und gleiche Wirkung müssen auch die an dem *tuber ischii* entspringenden Kniebeuger bei gespreizten Beinen auf die Tibia äussern und dadurch ist bei feststehenden Füssen eine unverhältnissmässige Belastung des äusseren Kniegelenkes gegeben.

3. Der Fuss.

Der Fuss ist vor dem analogen accessorischen Gliede des Armes, vor der Hand, dadurch ausgezeichnet, dass er als festes tragendes Gewölbe organisirt ist. Derjenige Theil desselben, welchem diese Funktion fast allein zukommt, ist Mittelfuss und Fusswurzel; diese sind daher in solcher Weise organisirt, dass die Zehen gegen sie entschieden zurücktreten, während an der als Greifapparat organisirten Hand die Finger einen Hauptheil der Masse darstellen. In dem Früheren wurde auch bereits darauf aufmerksam gemacht, dass von der Länge der ganzen Hand ungefähr die Hälfte auf die Finger kommt, während von der Länge des ganzen Fusses die Zehen nur etwa ein Fünftel in Anspruch nehmen. Der übrige Theil des Fusses theilt sich dann in der Weise, dass drei Theile seiner Länge auf den Mittelfuss und fünf Theile auf die Fusswurzel kommen. Die letztere ist damit als derjenige Theil bezeichnet, welcher vorzugsweise das Gewölbe bildet.

A. Der Fuss als Gewölbe.

Man kann in ganz passender Weise in dem Bau des Fusses zwei Gewölbe unterscheiden, welche indessen in dem Fersenbeine einen gemeinsamen Fusspunkt finden. Mit einer solchen Auffassung hat man die Bequemlichkeit, den ganzen Fuss in diesem Sinne in zwei neben einander liegende Theile zu zerlegen.

Zu dem inneren höheren Gewölbe gehören dann ausser dem beiden Gewölben gemeinsamen Kalkaneus die vor dem Astragalus liegenden

Theile und der Astragalus selbst; als vorderer Fusspunkt dieses Gewölbes müssen also die Metatarsusköpfchen der drei ersten Zehen erscheinen.

Das äussere kleinere Gewölbe bildet dann der Kalkaneus, das *os cuboides* und die Metatarsusknochen der beiden äusseren Zehen.

Ansprechend, wie auf den ersten Blick auch diese Schematisirung des Fusses erscheinen mag, ist sie bei genauerer Prüfung doch nicht durchzuführen. Untersucht man nämlich einen aufgesetzten Fuss, so findet man an dem inneren Rande desselben einen unverkennbaren Gewölbebogen, dessen vorderer Fusspunkt das *capitulum ossis metatarsi I* ist; an dem äusseren Rande findet man ebenfalls einen solchen; der vordere Fusspunkt desselben ist aber nicht das *capitulum* sondern die *tuberositas ossis metatarsi V* und dieser Punkt liegt seitwärts von der Mitte des Abstandes des *tuber calcanei* von dem *capitulum ossis metatarsi I*. — Die drei Fusspunkte der beiden Gewölbe bilden demnach die Eckpunkte eines Dreieckes, dessen Basis die dem grossen inneren Gewölbe entsprechende Linie ist und dessen Spitze in der *tuberositas ossis metatarsi V* liegt. — Hierdurch wird man darauf geführt, in dem Fusse eine Unterstützung durch drei Punkte zu finden. — Es war ein ansprechender Gedanke von SZYMANOWSKY [1]), durch diese drei Punkte eine Kreislinie zu legen und in dieser dann die Basis eines Nischengewölbes zu erkennen. Werden beide Fersen neben einander gestellt und beide Füsse zugleich in einen solchen Divergenzgrad gebracht, dass die zweimal drei Stützpunkte beider Füsse in dieselbe Kreislinie fallen, dann bilden beide Füsse zusammen ein unvollständiges Kuppelgewölbe.

Welche Auffassung aber auch man wählen mag, immer hat man an derselben nur ein Bild, welches die funktionelle Konstruktion des Fusses mit mehr oder weniger Glück zu erläutern im Stande ist. — Durch alle Bilder, welche man sich über diesen Gegenstand machen kann, geht aber eine Thatsache als Grundlage hindurch, die Thatsache nämlich, dass die erwähnten drei Punkte diejenigen sind, welche die Last der Körperschwere auf den Boden zu übertragen haben, und dass in dem Augenblicke, in welchem der Fuss belastet auf dem Boden steht, er durch verschiedene Einrichtungen in ein starres Ganze verwandelt ist, durch welches hindurch die auf den Astragalus wirkende Schwere auf jene drei Punkte geleitet werden kann.

Es ist daher zuerst zu untersuchen, in welcher Weise der belastete Fuss zu einem solchen starren Ganzen wird.

1) LANGENBECK, Archiv für Chirurgie. I. S. 385.

B. Der Aufbau des Fusses.

a. Der Fuss im engeren Sinne.

Bei der Hand ist nur die Reihe der vier vorderen Handwurzelknochen zu einem einheitlichen Ganzen mit den Fingern verschmolzen und die drei dem Unterarm näher liegenden Handwurzelknochen bilden zusammen einen zwischen Unterarm und Hand (im engeren Sinne) sich einschaltenden Meniskus. Aehnlich ist das Verhältniss bei dem Fusse; — auch hier ist ein Theil der Fusswurzel mit den Zehenelementen zu einem Ganzen (Fuss im engeren Sinne) verbunden und ein Theil der Fusswurzel ist als Meniskus gegen den Unterschenkel abgetrennt. Die Meniskusbedeutung beschränkt sich indessen hier allein auf den Astragalus und dieser gewinnt noch eine weitere Bedeutung für den Mechanismus des Fusses, indem er nicht nur seinem Meniskuscharakter entsprechend nach beiden Seiten hin eine verschiedene Bewegungsrichtung vermittelt, sondern auch das wichtigste Moment für Feststellung des ganzen Fusses wird. Dass er diese letztere Bedeutung gewinnen kann, hängt ganz besonders von der Zusammenfügungsweise der übrigen Fusswurzel ab.

Die vier vorderen Fusswurzelknochen, welche zunächst an den Mittelfuss anstossen, sind mit dem *os naviculare* zu einem ziemlich festen Ganzen verbunden, in welchem nur das *os cuboides* eine etwas grössere Beweglichkeit dem sehr starren Komplex der vier Knochen *os naviculare* und *ossa cuneiformia* gegenüber zeigt. — Abgesehen von dieser Beweglichkeit, welche in anderer Beziehung eine gewisse Wichtigkeit erlangt, kann die Gesammtheit der bezeichneten fünf Fusswurzelknochen als ein einheitliches Ganze angesehen werden, welches man als: vordere Fusswurzel benennen kann.

Diese vordere Fusswurzel wendet zwei Gelenkflächen nach hinten, diejenige des *os cuboides* und diejenige des *os naviculare*. Mit beiden steht der Kalkaneus in Verbindung, — in direkter Gelenkverbindung mit dem *os cuboides,* — in seitlicher Bandverbindung mit dem *os naviculare.*

Die Gelenkverbindung des *os cuboides* mit dem Kalkaneus ist eine ziemlich bewegliche und kann im Allgemeinen als ein Drehgelenk mit einer der Hauptsache nach von vornen nach hinten gerichteten Axe angesehen werden. Die Lage der Axe ist individuell verschieden. Ich habe früher als massgebende Axe für diese Artikulation eine solche beschrieben, welche in ungefähr horizontaler Richtung von vornen nach hinten durch die hintere Spitze des *os cuboides* geht, und

habe der Annahme dieser Axe entsprechend diese Artikulation als mittleres Fussgelenk den beiden anderen durch die beiden Axen des Astragalus bezeichneten grösseren Fusswurzelgelenken gegenüber gestellt. — Veranlassung dafür war mir neben Anderem ein bestimmtes Präparat der Fusswurzel, an welchem die hintere Spitze des *os cuboides* eine rundliche Kuppe zeigte, welche in einer hohlkugeligen *cavitas glenoides* des *processus anterior calcanei* sich bewegte. Eine andere Bewegung als um eine Axe oben angegebener Art war in diesem Gelenke nicht möglich. — Henke hat gegen diese Darstellung Widerspruch erhoben, und zwar, wie ich finde, theilweise mit Recht. — Obschon ich nämlich wiederholt und nicht selten solche Gelenkverbindung zwischen *os cuboides* und Kalkaneus gefunden habe, welche der obigen Beschreibung entsprechen und deswegen die Annahme einer anderen Axe nicht gestatteten, — so fand ich dagegen auch wieder solche Artikulationen sehr häufig, welche der Darstellung von Henke entsprechend, die untere (schiefe) Astragalusaxe als massgebend erkennen liessen. Es sind dieses diejenigen Gelenkformen, in welchen eine entschiedene querliegende Rinne an dem oberen Theile der Gelenkfläche des *processus anterior calcanei* erkennbar ist. In dieser Rinne rutscht der hinter der alsdann deutlich ausgebildeten Spitze gelegene hohle Theil der Gelenkfläche des *os cuboides* in der Richtung nach aussen oder nach innen, und genauere Untersuchung lässt erkennen, dass die Axe, um welche diese Rutschbewegung geschieht, nach innen und oben von der Gelenkverbindung gelegen ist und dabei eine solche Richtung hat, dass sie möglicher oder wahrscheinlicher Weise mit der unteren Astragalusaxe zusammenfällt. Eine genauere Bestimmung ist bei der Kürze der Rinne und der Kleinheit der Exkursion nicht möglich. — Besonders zu bemerken ist übrigens, dass in den Fällen, in welchen diese Form der Artikulation deutlich ausgebildet ist, in demselben Gelenke noch eine Schlussrotation beobachtet wird, welche entschieden um eine durch beide Knochen gehende horizontale Axe geschieht. Durch dieselbe wird der untere (äussere) Rand des *os cuboides* bei dem Feststellen des Fusses noch etwas nach aussen geführt, so dass die äusseren Flächen beider Knochen dadurch in Kontinuität gestellt werden. Mit dem Eintritte der Schlussrotation löst sich die Berührung beider Knochen in der bis dahin massgebenden Rinne.

Zwischen dem Kalkaneus und dem *os cuboides* finden sich ausser kleineren Verstärkungsbändern der Kapsel, auf der dorsalen, der äusseren und der inneren Seite, noch zwei starke plantare Bänder, welche für den Mechanismus des Fusses grössere Wichtigkeit erlangen, es sind das *lig. calcaneo-cuboideum longum* und das *lig. calcaneo-cuboideum transversum*. — Letzteres geht von der unteren Fläche des

Kalkaneus schräg nach vornen und innen an den inneren plantaren Rand des *os cuboides*; es ist zunächst Hemmungsband für das Nach-innen-rutschen des *os cuboides*, welches mit Senkung des äusseren Fussrandes verbunden ist; gewinnt aber auch bei der Feststellung des Fusses durch den Astragalus, welche nachher zu besprechen ist, eine Bedeutung. — Ersteres ist in der Richtung von vornen nach hinten ausgespannt und wird wichtiger Hemmungsstrang für Unterstützung des Fussgewölbes; in der Drehung des *os cuboides* nach innen ist es schlaff und wird erst durch die Schlussrotation vollständig gespannt.

Die zweite Gelenkfläche, welche die vordere Fusswurzel nach hinten wendet, ist die Hohlfläche des *os naviculare*. Diese tritt in Gelenkverbindung bekanntlich mit dem *caput astragali*; — besonders starke Bandverbindung hat sie aber mit dem Kalkaneus. Ein kurzes kräftiges Band (*lig. calcaneo-naviculare externum*) geht von der inneren vorderen Kante des *processus anterior calcanei* zu dem äusseren Rande der Gelenkfläche des *os naviculare* und ein ausserordentlich starkes langes Band (*lig. calcaneo-naviculare plantare*) geht von dem *sustentaculum tali* und dem inneren oberen Rande des *processus anterior calcanei* zu dem plantaren und dem inneren Rande der Gelenkfläche des *os naviculare*. — Die Verbindung dieses Bandes mit dorsalen Bandmassen ist später noch einmal zu berücksichtigen.

Indem der Kalkaneus die eben beschriebenen Verbindungen eingeht, bildet er mit der vorderen Fusswurzel zusammen einen eigenthümlichen Knochenkomplex, welcher, am freischwebenden Fusse sehr beweglich, doch durch die Einklemmung des Astragalus schnell und leicht festgestellt werden kann. — Indem nämlich an das *os naviculare* mit den *cuneiformia* sich das *os cuboides* anreiht und an dieses dann der Kalkaneus, bilden diese Knochen zusammen einen Ring, welcher aber zwischen dem Kalkaneus (namentlich dem *sustentaculum tali*) und dem *os naviculare* unvollständig ist. An dem skeletirten zusammengesetzten Fusse sieht man auch an dieser Stelle eine beträchtliche Spalte, in welcher eine bestimmte Facette des *caput astragali* frei liegt. Diese Lücke nun ist durch das *ligamentum calcaneo-naviculare plantare* ausgefüllt und die Länge dieses Bandes gestattet eine sehr freie Bewegung der vorderen Fusswurzel gegen den Kalkaneus. Daher zeigt auch der frei schwebende Fuss in sich eine grosse Beweglichkeit. — Durch die Einklemmung des Astragalus zwischen den Kalkaneus und das Navikulare wird aber dieses Band und nicht minder das *lig. calcaneo-naviculare externum* gespannt, und die Elemente des Ringes schärfer auf einander gedrängt, so dass die zwischen diesen vorhandene Beweglichkeit, insbesondere diejenige des *os cuboides* gegen den Komplex *naviculare-cuneiformia* und gegen den Kalkaneus aufgehoben und die Fusswurzel in ein starres, in

sich unbewegliches Ganze verwandelt wird. Das *lig. calcaneo-naviculare plantare* dient dann an der inneren Seite des Fusses eben so sehr der Gewölbespannung, wie an der äusseren Seite das *lig. calcaneo-cuboideum plantare longum.*

b. Der Astragalus.

Die Einrichtung des Astragalus, durch welche dieses möglich wird, besteht in Folgendem:

Der Astragalus zeigt zwei Gelenkflächen, deren eine mit dem Kalkaneus, und deren andere mit dem Navikulare artikulirt. — Die Scheidung zwischen beiden Flächen ist auf dem Kopfe des Astragalus. Die Gelenkfläche auf diesem ist nämlich durch zwei quer verlaufende nach innen zu divergirende Leisten in drei Facetten getheilt. Von diesen artikulirt die mittlere, zwischen beiden Leisten befindliche, mit dem *lig. calcaneo-naviculare;* an dem skeletirten Fusse liegt diese Facette frei in der Lücke zwischen Kalkaneus und Navikulare. — Die vordere Facette, anscheinend eine Kugelfläche darstellend, artikulirt mit dem Navikulare; — die untere mit dem *sustentaculum tali* und der oberen Fläche des *processus anterior calcanei.* Letztere Fläche ist, wie die gegenüberliegende des Kalkaneus, häufig ein kontinuirliches Ganze, häufig auch in zwei oder drei Theile getrennt; — wenn aber dieses auch der Fall ist, so ist sie darum doch als ein Einheitliches in mechanischer Beziehung anzusehen. — Als eine mit dem Kalkaneus artikulirende Fläche bildet diese untere Facette des Astragaluskopfes eine Ergänzung zu der an der unteren Seite des Astragaluskörpers befindlichen Gelenkfläche, von welcher sie nur durch den schmalen *sulcus astragali* getrennt ist.

Die untere Gelenkfläche auf dem Körper des Astragalus wird durch eine flache Leiste in zwei Theile von ganz verschiedener Bedeutung und von verschiedenen Axen getrennt und die entsprechende Trennung ist auch an der gegenüberliegenden Gelenkfläche des Kalkaneuskörpers erkennbar. — Die Leiste geht ungefähr gerade unterhalb des äusseren Randes der Astragalusrolle in der Richtung von vornen nach hinten und trennt eine innere unterhalb der Astragalusrolle gelegene Abtheilung von einer äusseren, welche unter dem für die Artikulation mit der Fibula bestimmten äusseren Fortsatze gelegen ist.

Beide Theile liegen niemals gleichzeitig in vollständiger Berührung mit der Kalkaneusfläche, und dieser Umstand genügt schon für sich allein, auf eine verschiedene Bedeutung derselben hinzuweisen. Genauere Untersuchung lehrt nun hierüber Folgendes:

Untersucht man die Gelenkfläche auf dem Körper des Kalkaneus, so findet man an dieser eine Trennung in zwei Theile,

welche vollständig jener Trennung der gegenüberliegenden Gelenkfläche des Astragalus entspricht. Der innere Theil liegt mehr horizontal, ist ziemlich gewölbt und endet mit einer Spitze an dem inneren Ende des *sulcus calcanei;* — der äussere Theil ist ebener und fällt rasch nach aussen ab. Zwischen beiden Theilen befindet sich eine seichte Rinne, welche, wie die flache Leiste auf der Gelenkfläche des Astragalus die Richtung von vornen nach hinten hat. — Besonders zu beachten ist an der Spitze, mit welcher der innere Theil an dem *sulcus calcanei* endigt, eine tiefe Rinne, welche ungefähr parallel dem grössten Durchmesser der ganzen Gelenkfläche verläuft. Dieser Rinne entsprechend findet sich an dem inneren Theile der Gelenkfläche des Astragalus ein Wulst, nach innen von welchem sich nur noch ein kleiner schmaler Theil der Gelenkfläche befindet. — Liegt die Gelenkfläche des Astragalus auf derjenigen des Kalkaneus in der Stellung, welche bei fest aufgesetztem Fusse beide Flächen gegen einander haben, so bedecken sich die äusseren Theile beider Flächen vollständig und auch der grösste Theil der beiden inneren Theile zeigt genaue und vollständige Berührung, aber die nach innen gerichtete Spitze der Gelenkfläche des Kalkaneus und die in derselben gelegene Rinne ist nicht bedeckt und auch der kleine Theil der Gelenkfläche des Astragalus nach innen von dem zuletzt beschriebenen Wulst hebt sich frei sichtbar von der Gelenkfläche das Kalkaneus ab. — Gibt man nun dem Astragalus diejenige Stellung gegen den Kalkaneus, welche er dann einnimmt, wenn der äussere Fussrand gesenkt ist, so bemerkt man zuerst eine Drehung des Astragalus um einen gegen innen gelegenen Punkt, bis der Wulst seiner Gelenkfläche in die Rinne der Gelenkfläche des Kalkaneus gerückt ist und der kleine Randtheil seiner Gelenkfläche nach innen von dem Wulste an die etwas nach oben gerichtete Spitze der Gelenkfläche des Kalkaneus anstösst. Der ganze äussere und hintere Rand der Gelenkfläche des Kalkaneus ist dann nicht mehr von dem Astragalus bedeckt, und beide Gelenkflächen berühren sich auch nicht mehr genau; von hinten gesehen erscheint die Gelenkfläche des Astragalus wie ein Bogen von kleinerem Krümmungshalbmesser über die Gelenkfläche des Kalkaneus hingespannt. — In Berührung ist nur die Rinne der Kalkaneusgelenkfläche und der ihr benachbarte grössere Theil der inneren (oberen) Abtheilung derselben Gelenkfläche mit den entsprechenden Theilen der Astragalusgelenkfläche und die äussere untere Kante dieser letzteren Gelenkfläche rutscht noch auf der äusseren Abtheilung der Kalkaneusgelenkfläche. Ist diese Stellung erreicht, so geschieht die weitere Bewegung dadurch, dass der Wulst der Astragalusfläche in der Rinne der Kalkaneusfläche rutscht. — Führt man sodann den Astragaluskörper wieder nach aussen zurück, so geschieht die Bewegung wieder zuerst als Rutschen nach Massgabe dieser

Rinne und dann findet eine Drehung statt, durch welche die äusseren Abtheilungen beider Gelenkflächen in innige Berührung treten und der Astragaluskörper über den äusseren Theil der Kalkaneusfläche hinunterrutscht.

Es sind hier offenbar zwei ganz verschiedene Bewegungen, welche einander ablösen; und es ist damit eine Hinweisung auf die Bedeutung der Theilung der beiden Gelenkflächen in je zwei Abtheilungen gegeben. Genauere Untersuchung durch Ergänzung der Gelenkflächen gibt nun auch bestimmtere Belehrung darüber, dass in der dem Astragalus zugewendeten Gelenkfläche des Kalkaneus zwei ganz verschiedene Körper enthalten sind. — Die innere (obere) Abtheilung dieser Gelenkfläche gehört einem einaxigen Rotationskörper an, für welchen die Richtung der Peripherie durch die nahe der äusseren Spitze gelegene Rinne angedeutet wird; — die Axe dieses Körpers liegt annähernd horizontal und ist nach innen und vornen gerichtet; — sie verlässt also in ihrer Fortsetzung den Kalkaneus unter dem *sustentaculum tali*. — Die äussere Abtheilung gehört einem sehr stumpfwinkeligen Kegel an, dessen Spitze in dem vorderen inneren Rande der Gelenkfläche des Kalkaneus liegt und zwar dicht unter dem äusseren Ende der für den erst-beschriebenen Körper massgebenden Rinne. Die Axe dieses Kegels geht schief aufsteigend gegen innen und vornen. Nach hinten verlängert geht sie ungefähr durch das *tuberculum externum* des *tuber calcanei;* — nach vornen verlängert geht sie durch den Hals des Astragalus und tritt aus diesem ungefähr in der Mitte des oberen Randes der Gelenkfläche seines Kopfes hervor.

Um die Axe des ersteren Körpers geschieht die Bewegung des frei schwebenden Fusses, dessen äusserer Rand bereits der Schwere folgend gefallen ist. — Um die Axe des zweiten Körpers geschieht aber die Bewegung des Astragalus bei der Feststellung des Fusses und die Bewegung des Fersenbeines und mit diesem des ganzen Fusses, wenn an dem freischwebenden Fusse die Einstellung des Astragalus sich wieder auslöst. — Bemerkenswerth ist es, dass wegen der stark absteigenden Richtung der äusseren Abtheilung der Kalkaneus-Gelenkfläche die Schwere des belasteten Astragalus genügend ist, ihn mit einer Drehung um diese Axe zur Einstellung zu bringen. — Die Axe des beschriebenen Kegels wird also für den Mechanismus des Fusses von grosser Bedeutung und da sie massgebend für die wichtigsten Bewegungen des Astragalus ist und zum Theil in dem Astragalus selbst liegt, kann sie als untere Axe des Astragalus benannt werden.

Die zweite für Feststellung des Fusses wichtige Gelenkfläche des Astragalus ist diejenige auf dem Kopfe desselben. Wie oben bereits gelegentlich angeführt, besitzt der Astragaluskopf drei Facetten, von

welchen die eine zu dem *sustentaculum tali* und dem *processus anterior calcanei* gehört, die andere zu dem *lig. calcaneo-naviculare plantare*, die dritte grössere aber zu der Hohlfläche des *os naviculare*. Diese letztgenannte Facette ist es, welche in ihrer Artikulation mit dem Navikulare eine überwiegend grosse Bedeutung für die Feststellung des Fusses gewinnt. — Auf den ersten Anblick scheinen die beiden dieser Artikulation zugehörigen Flächen Theile von Kugelflächen zu sein, womit dann für diese Verbindung der Charakter einer Arthrodie gegeben wäre. In Wirklichkeit ist aber der Charakter ein ganz anderer und sehr eigenthümlicher. Durch Fortsetzung der Gelenkfläche findet man nämlich, dass die bezeichnete Facette des Astragaluskopfes Theil einer schraubenförmigen Fläche ist, zu welcher die oben aufgestellte untere Astragalusaxe die Spindelaxe ist; ein Spindelkörper besteht eigentlich nicht, denn die Fläche windet sich mit einer Kante ganz eng um die Axe. Das Bild, welches das Verhalten dieser Fläche am Geeignetsten erläutert, ist deswegen nicht dasjenige einer Schraube von gewöhnlicher Gestalt, sondern dasjenige einer Wendeltreppe. Wie die benutzte Fläche einer solchen stets gleichmässig nach oben sehend, sich allmälig von dem Boden entfernt, — so entfernt sich die Fläche, welcher jene Facette des Astragaluskopfes angehört, allmälig von dem Astragaluskörper nach vornen und oben nach Massgabe der oben bezeichneten Axe. — Wie dort bereits gezeigt wurde, tritt jene Axe an dem oberen Rande der Gelenkfläche des Astragaluskopfes aus diesem hervor; die fragliche Facette liegt also unter ihr; wird die Facette in der Richtung nach aussen fortgebildet, so windet sie sich um die äussere Seite der Axe hinauf und dann über die Axe hinüber nach innen, wobei sie jenen wendeltreppen-artigen Verlauf nach vornen (und oben) nimmt. — Der äussere Theil der vorderen gewölbten Facette des Astragaluskopfes ist also in der Richtung, welche die untere Astragalusaxe angibt, weiter nach vornen gelegen als der innere Theil derselben. Aus dieser interessanten Thatsache geht aber hervor, dass die Drehung des Astragalus um seine untere Axe, welche den Körper desselben über die obere Gelenkfläche des Kalkaneus hinabrutschen und den Kopf des Astragalus in der Höhlung des Navikulare nach innen gleiten lässt, zu gleicher Zeit das Navikulare nach vornen stossen und dasselbe damit von dem Kalkaneus entfernen muss. — Hierdurch wird aber einerseits das *lig. calcaneo-naviculare plantare* stark gespannt und andererseits der Astragalus fest zwischen Kalkaneus und Navikulare eingeklemmt. Beide Verhältnisse bedingen aber eine solche Feststellung des ganzen Fussgewölbes, dass dieses ein relativ starres Ganze wird. Der *apparatus ligamentosus* im *sinus tarsi* hat die Aufgabe, den Astragalus in dieser gezwungenen Lage so festzuhalten, dass er nicht nach oben hinausgesprengt wird.

c. Die Feststellung des Fusses.

Der Druck, welchen das Navikulare von dem Astragalus erhält, pflanzt sich gegen vornen und gegen aussen fort; — letzteres deshalb, weil das *lig. calcaneo-naviculare externum* straffer und kürzer ist und deswegen der innere Theil des Navikulare mehr gegen vornen gedrängt wird, als der äussere Theil. Dieser Druck, welchen das Navikulare direkt und durch die von ihm gedrängten Cuneiformia dem Kuboides mittheilt, bedingt in dem letzteren das Hingleiten nach aussen an dem *processus anterior calcanei* sowie die Schlussrotation zwischen diesen beiden Gelenkflächen, und drückt dieselben zugleich fester auf einander. — Dieses Aneinanderdrängen der beiden Flächen ist theils Folge des Druckes nach aussen, theils Folge der Gestalt der Gelenkfläche des Kalkaneus. In den Fällen nämlich, in welchen eine rinnenförmige Rutschfläche für das Kuboides sich an dem Kalkaneus befindet, gehört diese Rinne, wie die Fortsetzung derselben lehrt, einem schraubenförmigen Gang an, welcher mit der Verschiebung des Kuboides nach aussen zugleich eine solche nach vornen verbindet. Axe dieses Schraubenganges scheint, wie in Früherem bereits angedeutet, die untere Astragalusaxe zu sein. — Die Schlussrotation zwischen Kalkaneus und Kuboides kommt durch den Gegendruck des Bodens auf letzteres zu Stande. Bei der Feststellung des Fusses wird daher das Kuboides in ähnlicher Weise nach vornen geschraubt, wie das Navikulare und damit grössere Festhaltung desselben und grössere Anspannung des *lig. calcaneo-cuboideum plantare* erzielt.

Die untere Gelenkfläche des Astragaluskopfes und die einfache oder getrennte gegenüberliegende Gelenkfläche auf dem *sustentaculum tali* und dem *processus anterior calcanei* lassen einen bestimmteren Charakter nicht erkennen und sind deshalb für jetzt nur als Rutschflächen unbestimmteren Charakters zu bezeichnen, welche die beschriebenen Bewegungen des Astragalus gestatten. — Bei der Einwärtsstellung des Astragaluskopfes ruht dieser mehr auf dem *sustentaculum* und bei der Auswärtsstellung mehr auf dem *processus anterior calcanei.*

Die Möglichkeit der Feststellung des ganzen Fusses, so dass er als einheitliches Ganze eine feste tragende Stütze für die Körperlast gewährt, beruht auf der Spannung der plantaren Bänder und zwar namentlich der beiden in dieser Beziehung schon mehrfach genannten, des *lig. calcaneo-cuboideum plantare* und des *lig. calcaneo-naviculare plantare.* — Zu diesen Bändern kommt aber als wichtiges Unterstützungsmittel noch die *fascia plantaris*, welche von dem *tuber calcanei* nach vornen gehend in zweierlei Weise endet, einerseits nämlich ausgefasert in sämmtlichen Zehen, andererseits als ein sehr fester und starker

Strang an der *tuberositas* des *os metatarsi V.* Dass dieser letztere Strang die Spannung des äusseren kleineren Gewölbes sehr wesentlich unterstützt, ist sogleich ersichtlich, aber auch der andere grössere Theil wirkt in gleicher Weise auf den ganzen Fuss mit dem Metatarsus und drückt durch seinen Spannungszug auch noch die Zehen fest auf den Boden. — An einem Präparate, an welchem die Fussbänder ausgearbeitet und die *fascia plantaris* in ihrer Verbindung mit den Zehen als freie Platte erhalten ist, kann man sich leicht überzeugen, dass die vorher lose *fascia plantaris* beim festen Aufsetzen des Fusses gespannt wird und zugleich die Zehen so fest an die Unterlage angedrückt werden, dass es kaum möglich ist, dieselben in eine Dorsalflexion zu bringen. — Ausser der *fascia plantaris* tragen aber auch noch fast sämmtliche kleinen Muskeln der Fusssohle während ihrer Thätigkeit durch Zug und während ihrer Ruhe durch ihre Elasticität zur Unterstützung der Fusswölbung bei, indem sie theils von dem Fersenbein entspringen, theils in ihrem Ursprunge mit den plantaren Bändern verbunden sind, insbesondere mit dem *lig. calcaneo-cuboideum plantare longum*, welches dadurch zu einer ziemlich komplicirten Bildung wird. Weitere Ausführung dieses Satzes für jeden einzelnen Muskel würde hier zu weit führen; es genüge daher diese Andeutung, deren Richtigkeit sich bei jeder Präparation einer Fusssohle erkennen lässt.

Es kann nun noch die Frage entstehen, welche Bedeutung für das Fussgewölbe den vier kleinen Zehen zukomme. Vielleicht findet sich eine Antwort auf diese Frage auf dem folgenden Wege. Es ist unverkennbar, dass die Belastung des Astragalus durch diesen direkt auf das kleine äussere Fussgewölbe übertragen wird, indem die Belastung des Kalkaneus theils durch das *tuber calcanei*, theils durch die *tuberositas ossis metatarsi V* in den Boden geführt wird. Andererseits aber überträgt auch der Kopf des Astragalus die Belastung auf das *os metatarsi I*, dabei also in das grössere innere Gewölbe. Denkt man sich nun den Metatarsusknochen der zweiten Zehe mit den beiden äusseren Cuneiformia und dem Kuboides als eine Einheit, so erkennt man in dieser wieder ein schief liegendes Gewölbe, welches im Stande ist, das innere Fussgewölbe von aussen her zu stützen und die von diesem aufgenommene Belastung mit dem einen Fusspunkte im Kuboides auf das äussere kleinere Gewölbe zu übertragen und mit dem anderen Fusspunkte, dem *capitulum metatarsi II*, auf den Boden. — Die folgenden Zehen wiederholen dieses Verhältniss im Kleinen und die kleine Zehe, welche ihrer ganzen Länge nach auf dem Boden liegt, bildet dann den Stützpunkt und Abschluss dieses Apparates. — Zugleich ist nicht zu übersehen, dass die kleineren Metatarsusknochen je weiter nach aussen, desto mehr eine gewisse Beweglichkeit gegen einander und gegen die Fuss-

wurzel haben und dadurch geeignet sind, eine federnde Anschmiegung des Fusses an den Boden zu vermitteln und dadurch den Fuss geeigneter zu machen, sich allen Bodenverhältnissen anzupassen.— Auf ebenem Boden liegen die fünf Metatarsusknochen des aufgesetzten Fusses so neben einander, dass die Neigung der Axen zweier benachbarten Metatarsusknochen gegen den Boden um ungefähr 5^0 verschieden ist, — so dass also der Metatarsusknochen der IV. Zehe eine Neigung gegen den Boden von 5^0 besitzt, derjenige der III. Zehe eine solche von 10^0, derjenige der II. Zehe eine solche von 15^0, und derjenige der grossen Zehe eine solche von 20^0.

C. Das Fussgelenk.

Die Bewegungen des Fusses gegen den Unterschenkel sind aus mehreren Elementen zusammengesetzt, welche genau aus einander gehalten werden müssen, wenn man eine gegebene einzelne Bewegung oder die Wirkung der langen Fussmuskeln beurtheilen will. Hält man sich nur an die vorhandenen Artikulationen, so sind die Verhältnisse nicht so schwierig zu überblicken; die Schwierigkeit für die Beurtheilung der Fussbewegungen ist nur darin begründet, dass an den äusserlich als einfache erscheinenden Bewegungen mehrere Gelenke betheiligt zu sein pflegen und dass das Gleiche auch in Bezug auf die Wirkung der einzelnen den Fuss als Ganzes bewegenden Muskeln der Fall ist.

Als Fussgelenk im engeren Sinne kann nur das Gelenk zwischen Astragalus und Unterschenkel angesehen werden. Da aber keine der den Fuss bewegenden Muskeln sich an den Astragalus ansetzen, so mengt sich in beinahe eine jede Bewegung des ganzen Fusses die Artikulation des Astragalus gegen die übrige Fusswurzel ein; — und für diejenigen Muskeln, welche sich an die vordere Fusswurzel und den Metatarsus ansetzen, fällt noch die Beweglichkeit der vorderen Fusswurzel als eines Ganzen in Rücksicht und sogar noch die Beweglichkeit des durch die vordere Fusswurzel und den Metatarsus gebildeten Komplexes in sich.

Die Artikulation zwischen der vorderen Fusswurzel und dem Kalkaneus, sowie die Verhältnisse des Astragalus zu der übrigen Fusswurzel sind in dem Früheren schon besprochen, wenn auch vorzugsweise mit Rücksicht auf die Feststellung des Fusses. Es bleibt daher noch das Fussgelenk in dem oben aufgestellten engeren Sinne zu untersuchen.

An dieser Artikulation nehmen dem Astragalus gegenüber die beiden Unterschenkelknochen Theil, und bilden mit demselben eine Verbindung, welche im Allgemeinen als Ginglymus bezeichnet werden kann, wenn auch im Einzelnen nicht unwichtige Modifikationen dieser Auffassung sich herausstellen müssen.

Von Seiten des Astragalus wird dieser Verbindung dargeboten ein Theil eines walzenähnlichen Körpers, von welchem nicht nur, wie sonst bei einem Ginglymus gewöhnlich, die Peripheriefläche Gelenkfläche ist, sondern auch die beiden Basisflächen. Die Fibula artikulirt mit der einen Basisfläche, — die Tibia mit der anderen Basisfläche und der Peripheriefläche. — Die Tibia hat also die bei Weitem grössere Berührung und damit den grösseren Antheil an der Gelenkverbindung; jedenfalls kommt ihr auch, da sie mit der querliegenden Peripheriefläche der Astragalusrolle in Berührung steht, die Uebertragung der Belastung auf den Astragalus und damit auf den ganzen Fuss zu. In Bezug auf die Bewegung selbst erscheint indessen doch die Artikulation des Astragalus mit der Fibula als massgebende Grundlage, indem diese Artikulation die einfachste und gesichertste Bewegungsbahn besitzt.

Die äussere Basisfläche der Astragalusrolle erhebt sich nach aussen in Gestalt eines Kegelmantels, dessen Spitze in der Axe der Rolle gelegen ist. Auf dieser Kegelfläche bewegt sich in der Richtung der Flexionsebene die Fibula mit der dreieckigen Gelenkfläche, welche sich an der inneren Seite ihres *malleolus externus* findet. Für die Spitze des Malleolus wird dabei das *lig. calcaneo-fibulare* fixirend, und hemmend werden an dem Ende der Bewegung nach jeder der beiden Richtungen hin das *lig. talo-fibulare anterius* und das *lig. talo fibulare posterius.* — Die Bahn dieser Bewegung ist eine einfache und gesicherte und findet präcise Hemmungen; aus diesem Grunde ist sie auch oben als Grundlage der Artikulation bezeichnet worden, und es wird sich diese Auffassung noch mehr rechtfertigen, wenn es sich zeigen wird, wie in die Artikulation mit der Tibia verschiedene Elemente sich einmengen, welche dieselbe unrein machen.

Für's Erste ist in Bezug auf die Artikulation mit der Tibia die Thatsache zu beachten, dass die Astragalusrolle hinten schmaler ist als vornen, so dass die beiden Knöchel, wenn sie an den ihnen zukommenden Artikulationsflächen fest anliegen sollen, näher bei einander sein müssen, wenn der Unterschenkel mit der hinteren Abtheilung der Astragalusrolle in Berührung ist (Senkung der Fussspitze), als wenn er auf der vorderen anliegt (Hebung der Fussspitze). Dass unter diesen Verhältnissen wirklich stets ein genauer Schluss stattfindet, ist dadurch möglich, dass die Syndesmose, welche das untere Ende der Tibia und der Fibula vereinigt, der Art ist, dass sie federnd die beiden Knochen an einander zieht. Wenn man den Astragalus aus der Verbindung mit den Unterschenkelknochen löst, so nähern sich sogleich die beiden Knöchel so sehr, dass man kaum das hintere Ende der Astragalusrolle wieder zwischen sie einfügen kann; das vordere Ende derselben kann

man nur auf die Weise zwischen beide hineinbringen, dass man erst das hintere Ende hineindrängt und dann durch Drehung das vordere nachschiebt. — Ein recht artiger, namentlich auch zur Demonstration geeigneter Versuch beweist ebenfalls die geringere Breite des hinteren Theils der Astragalusrolle und die grössere Entfernung beider Knöchel von einander, wenn der vordere Theil der Astragalusrolle zwischen denselben liegt. Wie ich finde, ist übrigens auch Henke (Mechanik der Gelenke S. 225) auf diesen Versuch gekommen. An einem präparirten Beine stellt man den Unterschenkel senkrecht, so dass sein Knieende unten ist, der Fuss fällt dann, der Schwere folgend, mit seiner Spitze hinab und der vordere Theil der Astragalusrolle ist zwischen den Knöcheln; — drückt man nun beide Knöchel fest gegeneinander, und verkleinert dadurch deren Entfernung von einander, so sieht man eine rasche, schlagende Bewegung der Fussspitze gegen oben, also der Schwere entgegen; und diese rührt davon her, dass der breitere vordere Theil der Astragalusrolle zwischen den genäherten Knöcheln hinausgetrieben wird und dafür ihr schmaler hinterer Theil zwischen dieselben sich lagert.

Für's Zweite ist die Bewegung der Tibia auf dem Astragalus nicht eine so reine, wie die Bewegung der Fibula auf demselben, denn es verbindet sich mit der Flexionsbewegung noch eine horizontale Rotation, deren Axe oder Mittelpunkt in die Fibula fällt. Wenn man die Astragalusrolle von oben ansieht, so bemerkt man schon, dass deren innere Basisfläche, welche die Gelenkfläche für den inneren Knöchel ist, eine Konvexität gegen innen wendet; und man findet hierin schon eine Hinweisung auf die angegebene Thatsache. Deutlicher aber wird dieselbe durch die folgende Untersuchung erwiesen. Auf einem in Gips nach dem Frischen nachgebildeten Astragalus wird die in Gips nachgebildete zugehörige Gelenkfläche der Tibia bewegt und dabei dafür gesorgt, dass die Berührung des inneren Knöchels mit dem Astragalus stets eine möglichst innige ist. In die Tibiagelenkfläche ist in querer Richtung von oben her eine durchdringende Spalte eingeschnitten und in einer Reihe von Stellungen macht man nach Weisung dieser Spalte einen Strich auf die Astragalusrolle. Man findet dann, dass alle Striche, welche man auf diese Weise gewonnen hat, gegen aussen konvergiren. Man erfährt hierdurch zu gleicher Zeit, dass die horizontale Rotation in dem vorderen und hinteren Endtheil der Bewegung etwas stärker ist als in dem mittleren Theile. Die Bewegung des Astragalus in dem unteren Ende der Tibia hat dadurch also eine unverkennbare Aehnlichkeit mit der Bewegung des inneren Femur-Kondylus auf der Tibia. — Die gegenseitige Stellung von Tibia und Fibula in der Berührung mit den verschiedenen Theilen der Astragalusrolle gestaltet sich also folgendermassen: Bei Berührung mit dem vorderen Theile des Astra-

galus sind Tibia und Fibula am Weitesten von einander entfernt, der vordere Rand der *incisura fibularis tibiae* ist aber der Fibula näher als der hintere Rand derselben; — bei Berührung mit dem hinteren Theile der Astragalusrolle sind Tibia und Fibula am Meisten genähert, aber der hintere Rand der *incisura fibularis tibiae* mehr als der vordere Rand. — Auf diese Weise wird die Einklemmung der Astragalusrolle zwischen den beiden Knöcheln eine vollkommenere. — In Früherem wurde schon darauf aufmerksam gemacht, dass diese Drehung der Tibia und deren Folgen im aufrechten Stehen durch den Zug des *ligamentum ileo-femorale* unterhalten wird und eine Wichtigkeit für die Ruhehaltung im Fussgelenk gewinnt.

Das flexorische (beziehungsweise extensorische) Element in der Bewegung der Tibia auf dem Astragalus scheint dieselbe Axe zu haben, welche für die Bewegung der Fibula aufgestellt wurde; der Radius der Rolle ist aber auf der Tibiaseite etwas kleiner als auf der Fibulaseite. — Nach vollendeter Bewegung der Tibia in dem angegebenen Sinne nach vornen findet übrigens noch eine Schlussrotation statt, in welcher der der Fibula zugewendete Theil der Tibia rasch nach vorn herabsinkt, während der innere Knöchel etwas zurückweicht. Der Mittelpunkt dieser Bewegung ist also in einem vorderen Punkte der tibialen Kante der Astragalusrolle zu suchen; und die Richtung dieser Rotation ist der Richtung der oben beschriebenen während der Flexion geschehenden Rotation entgegengesetzt.

Die dritte Eigenthümlichkeit des Gelenkes zwischen Astragalus und Unterschenkel besteht in Folgendem: Da der reine Ginglymus wahrscheinlich gar nicht vorkommt, sondern nur ein solcher mit schräger Führungslinie, d. h. mit Schraubengang, so muss auch in Bezug auf das Fussgelenk im engeren Sinne die Frage entstehen, in wie weit etwa auch in diesem neben den schon besprochenen Eigenthümlichkeiten die Schraubenbildung sich geltend macht. Die Frage drängt sich hier um so mehr auf, als, wie oben bereits angeführt, die beiden seitlichen Gelenkflächen, welche jedenfalls für die Führung am Entschiedensten massgebend sind, nach vornen zu divergiren und es sich für richtige Auffassung der Bewegungsbahn darum handeln muss zu wissen, welche der beiden Seitenflächen senkrecht zur Axe stehe und welche durch ihre schiefe Stellung zur Axe den Schraubengang vertrete. Es ist unverkennbar, dass die Beantwortung dieser Frage auf grosse Schwierigkeiten stösst, weil es nicht möglich ist, die Lage der Axe genau genug zu bestimmen, um sie zum Ausgangspunkte der Untersuchung nehmen zu können. Die Bewegung der Fibula kann ja nicht dazu benutzt werden, weil diese nur auf einer Seitenfläche geschieht und es daher wohl möglich ist, den Mittelpunkt der Bewegung zu bezeichnen, aber nicht die Richtung

der in demselben endenden Axe, so lange noch nicht entschieden ist, ob die Bahn der Fibula senkrecht oder schief zu der Axe steht; — ebenso wenig kann auch die Bahn der Tibia dazu benutzt werden, weil in dieser das rotatorische Element eine störende Beimengung ist. — Zur Entscheidung wählte ich daher die Fortbildung der Gelenkflächen des Astragalus, und zwar wurde, um alle störenden Elemente möglichst auszuschliessen, der hintere und der vordere Theil der Astragalusrolle entfernt und nur der grössere mittlere Theil derselben fortgebildet und zwar in einem Exemplare nach vornen und in einem anderen nach hinten und an beiden sowohl auf der Tibiaseite als auf der Fibulaseite für einen ganzen Umfang. Es stellte sich nun hierbei heraus, dass keine der beiden Seitenflächen in sich selbst zurückkehrt, sondern dass beide in gleichmässiger Weise von einer gedachten Mittelebene sich nach vornen zu entfernen, nach hinten zu aber sich derselben nähern. — Demnach ist unverkennbar, dass beide der Artikulation mit den Knöcheln dienenden Seitenflächen der Astragalusrolle als Schraubengänge aufzufassen sind.

Dem eigenthümlichen Charakter der Verbindung zwischen Astragalus und Tibia entsprechend sind auch die Fussgelenkbänder auf der Tibiaseite angeordnet. Während die einfache scharf gezeichnete Artikulation der Fibula mit drei bestimmt hingestellten Bändern versehen ist, geht von dem inneren Knöchel eine ganze Wand von starken Bandstreifen aus, welche sich in kontinuirlichem seitlichem Zusammenhang unter einander theils an die innere Seite des Astragaluskörpers, theils an das *sustentaculum tali*, theils an das *ligamentum calcaneo-naviculare plantare*, theils auch an den inneren Theil des oberen Randes des *os naviculare* ansetzen. — Dass diese Wand in gewissen Theilen die Bedeutung eines *ligamentum laterale* haben kann, ist nicht schwer zu erkennen und ebenso findet man in anderen Theilen derselben eine Spannung bei extremen Stellungen und dadurch eine Bedeutung als Hemmungsband. Eine wichtige Bedeutung kommt ihr aber offenbar noch bei der Feststellung des Fusses zu. Es wurde in einem Früheren schon darauf aufmerksam gemacht, dass durch den Zug des *lig. ileofemorale* auch der Tibia noch eine Rotation nach innen mitgetheilt wird, welche diese dann noch auf den Astragalus überträgt, wodurch der Kopf des Astragalus in seiner Stellung gegen innen noch entschiedener festgestellt wird. Dass der Astragalus dieser Drehung folgen kann, ist trotz seiner festen Artikulation mit der Fibula dadurch möglich, dass die Fibula wegen der Artikulation ihres *capitulum* an der Tibia und wegen der Elasticität ihres Körpers mit ihrem Malleolus der Bewegung des Astragalus folgen kann. Diese ganze Bewegung der Tibia muss nun nothwendig den als *ligamentum talo-naviculare* aufzufassenden Theil jener Wand anspannen und damit eine kräftige Hemmung des Andränges des

Astragaluskopfes nach innen geben und zugleich wegen der Verbindung mit dem *ligamentum calcaneo-naviculare plantare* das innere Fussgewölbe in seiner Spannung durch Hebung nach oben unterstützen.

D. Der Mittelfuss und die Zehen.

Die Mittelfussknochen sind ähnlich wie die Mittelhandknochen im Ganzen sehr unbeweglich unter sich und mit der Fusswurzel verbunden, wobei indessen dem ersten und dem letzten, ähnlich wie an der Mittelhand eine grössere Beweglichkeit zukommt.

Der Metatarsusknochen der grossen Zehe hat gegen das *os cuneiforme* eine allseitige Beweglichkeit, welche sich auf die nach vornen in beiden Richtungen konvexe Gelenkfläche des letzteren gründet. Von den möglichen Bewegungen werden diejenigen nach oben durch den Gegendruck des Bodens beim Aufsetzen des Fusses hervorgebracht und finden durch die Feststellung des Fusses mittelst Bänderspannung baldige Hemmung. — Die Bewegung nach innen, durch Muskelwirkung zu erzielen, findet ihre hauptsächlichste Anwendung bei dem Aufsetzen des Fusses. Dieses kann jedoch nur bei solchen gut gesehen werden, welche mit nackten Füssen zu gehen gewohnt sind; bei diesen wird durch diese Bewegung des ersten Metatarsusknochens die grosse Zehe während des Gehens beim jedesmaligen Aufsetzen des Fusses so weit nach innen zu gestellt, dass zwischen ihr und den übrigen Zehen eine Lücke auftritt, ähnlich wie zwischen dem Daumen und den Fingern im engern Sinne. Die Methode der Alten, die Sandalen durch einen zwischen der grossen Zehe und den übrigen Zehen hindurchgehenden Riemen zu befestigen, war deshalb durchaus vernunftgemäss. — Die Bewegung des Metatarsusknochens der grossen Zehe nach unten und aussen (d. h. gegen die Mitte des Fusses hin) ist vorzugsweise Wirkung des *m. peronaeus longus* und kommt bei einer Art des Stehens auf den Zehen in ziemlich beträchtlichem Grade in Anwendung.

Der Metatarsusknochen der kleinen (fünften) Zehe ist durch eine beträchtliche allseitige Beweglichkeit ausgezeichnet, welche aber mehr den Charakter des Wackeligen besitzt, als dass sie sich in bestimmtere mathemathische Formulirung bringen liesse. Die Bewegungen nach aussen, nach unten und nach oben sind aus leicht ersichtlichen Gründen die bedeutendsten und diejenigen nach oben finden nicht so bald eine Hemmung, weil ja die *tuberositas* dieses Metatarsusknochens der vordere Fusspunkt des äusseren (kleineren) Fussgewölbes ist und nicht das *capitulum* desselben.

Die übrigen Mittelfussknochen sind weniger beweglich, jedoch so, dass nur derjenige der zweiten Zehe als fast unbeweglich anzusehen

ist und von diesem gegen die kleine Zehe hin die Beweglichkeit gleichmässig zunimmt, so dass der vierten Zehe noch eine ziemlich starke Beweglichkeit in ihrem Metatarsusknochen zukommt, eine geringere aber der dritten Zehe.

Durch diese Verhältnisse ist es möglich, dass der Metatarsus durch Muskelwirkungen und durch Gegendruck des Bodens bedeutend verbreitert werden kann, — dass er aber auch ebenso durch Muskelwirkungen eine bedeutende Verschmälerung erfahren kann. — Letztere, welche mit einer Art von Opposition der beiden Fussränder verbunden ist, findet ihre Hemmung durch das Aufeinanderdrängen der Knochen und durch transversale Spannung der dorsalen Bänder an der Basis des Mittelfusses und der vorderen Fusswurzel. — Erstere findet ihre Hemmung durch die Spannung der sogenannten *ligamenta capitulorum*, welche die starken fibrosen Kappen unter einander verbinden, die auf der plantaren Seite des Metatarso-Phalangal-Gelenkes die Gelenkkapsel bilden.

Die Gelenke der Metatarsusköpfchen zerfallen in zwei Theile; der vordere ist eine entschiedene Arthrodie von 120⁰ Bogenwerth und dient der Artikulation der ersten Phalanx, — der untere hat entschiedenen Ginglymuscharakter mit 60⁰ Bogenwerth und artikulirt mit der oben erwähnten festen Kappe, in welche an der grossen Zehe noch die Sesambeine eingeschlossen sind, auf deren Theilnahme an der Artikulation noch tiefe Führungsrinnen an der entsprechenden Abtheilung des Metatarsusköpfchens hinweisen. Bekanntlich befinden sich die Zehen in ihrer mittleren Stellung in Dorsalflexion, und bei der geringen Beweglichkeit, welche sie in plantarer Richtung haben, kommt die erste Phalanx nie auf den Ginglymustheil des Köpfchens zu stehen, während bei den Fingern dieses mit einem charakteristischen Einflusse auf ihre Bewegungen der Fall ist.

Die Inter-Phalangal-Gelenke der Zehen bieten bei dem reinen Ginglymuscharakter mit Lateralbändern, welche sie besitzen, nichts Bemerkenswerthes, ausser einer grösseren Möglichkeit der Dorsalflexion des Nagelgliedes, als dieses bei den Fingern der Fall ist.

E. Das Stehen auf den Zehen.

Wenn der aufgesetzte Fuss die Schwerebelastung des Rumpfes aufnimmt, so überträgt er dieselbe durch seine drei Stützpunkte auf den Boden. Welcher derselben am Meisten belastet wird, ist abhängig von dem räumlichen Verhältniss der Schwerlinie zu denselben, denn derjenige von ihnen ist am Meisten belastet, welchem zunächst die Schwerlinie hinabfällt. Indem man durch Haltungsveränderungen in dem Rumpfe dem Schwerpunkte und damit der Schwerlinie eine veränderte

Lage gibt, kann man nach Belieben einen oder den anderen der drei Punkte stärker belasten, ohne an der Haltung des Fusses in sich oder gegen den Unterschenkel irgend etwas zu ändern, und ebenso kann durch die Schwere auf gleiche Weise die Verbindungslinie zwischen zweien dieser drei Punkte stärker belastet werden. Fällt die Belastung ganz in einen der Punkte oder in eine der Verbindungslinien, so sind die übrigen Stützpunkte vollständig entlastet und können, wenn die Schwerlinie den Punkt oder die Linie noch etwas überschreitet, sogar noch vom Boden abgehoben werden, wenn Sicherung gegen das Umfallen gegeben ist.

Auf solche Weise ist es möglich, auf der Ferse allein zu stehen, oder auf dem äusseren Fussgewölbe, oder auf dem inneren Fussgewölbe. Die Stütze, welche bei diesen Stellungen die Hautpolster noch gegen das Umfallen gewähren, wenn die Schwerlinie die mathematische Stützlinie oder den mathematischen Stützpunkt etwas überschreitet, ist nicht bedeutend, deshalb sind auch diese Stellungen sehr labil.

Ein Anderes ist es, wenn die Schwerlinie nach vornen gegen die Zehen geworfen wird. Ueber das Metatarsusköpfchen der grossen Zehe kann sie beträchtlich nach vornen gehen, weil die grosse Zehe selbst, in Dorsalflexion gestellt, dann noch eine Stütze gewährt; und deshalb ist es möglich, nur durch Verlegung des Schwerpunktes in dem Körper ohne eine Veränderung in den Beinen die ganze Schwere des Körpers auf die grosse Zehe zu werfen, wobei die Ferse sich von dem Boden erhebt, wenn die Schwerlinie vor dem Metatarsuskopf in die grosse Zehe fällt. Es kann demnach eine Erhebung auf die grosse Zehe ohne andere Hülfsmittel allein auf diesem Wege stattfinden.

Wird auf gleiche Weise die Schwerlinie über die Verbindungslinie zwischen *capitulum ossis metatarsi I* und *tuberositas ossis metatarsi V* nach vornen und aussen geführt, dann findet mit Entlastung der Ferse eine Unterstützung durch die Metatarsusknochen der vier kleineren Zehen statt, während dieselben, am meisten derjenige der kleinen Zehe, nach oben gedrängt werden. Ist eine weitere Hebung derselben nicht mehr möglich und wird die Schwerlinie noch weiter nach vornen und aussen geführt, so findet endlich mit Erhebung des ganzen übrigen Fusses ein Umkippen um die gemeinsame Axe aller Metatarsusköpfchen statt und es kann dann ein Stehen mit Unterstützung durch alle Zehen stattfinden, welches nur durch Verlegung des Schwerpunktes, ohne weitere Veränderungen in dem Fusse oder dem Beine zu Stande gekommen ist.

Es gibt also zweierlei Arten, wie die Schwere durch die Zehen unterstützt werden kann, nämlich:

entweder durch die grosse Zehe allein, wobei eine seitlich wirkende Beihülfe der kleinen Zehen nicht ausgeschlossen ist, — Grosszehen-Stellung,

oder durch alle fünf Zehen zugleich, während diese alle mit gleichmässigem Drucke auf dem Boden liegen, — Kleinzehen-Stellung.

Vgl. auch den Abschnitt über den Gang.

Dass beide Formen des Stehens auf den Zehen zu Stande kommen können, ohne dass in dem Gelenke des Fusses gegen den Unterschenkel oder in dem Fusse selbst eine Bewegung geschieht, Dorsalflexion der Zehen in den Matatarso-Phanlangal-Gelenken ausgenommen, ist oben gezeigt worden.

Beide Formen können aber auch auf die Weise erzeugt werden, dass der Fuss durch Bewegung in sich seine Gestalt und durch Bewegung gegen den Unterschenkel seine Stellung ändert und dadurch besonders dazu eingerichtet wird, die Last der Schwere aufzunehmen. — Wenn aber die Zehen die Unterstützungsfläche abgeben sollen und der übrige Fuss die Uebertragung der Schwere auf dieselben übernehmen soll, dann ist die zweckmässigste Stellung dafür diejenige, in welcher die Schwerlinie den Fuss möglichst in seiner Längenrichtung durchzieht und möglichst in die Mitte der von den Zehen gebotenen Unterstützungsfläche fällt. Dieses ist aber der Fall, wenn die Mitte der Unterstützungsfläche so weit möglich unter das untere Ende des Unterschenkels zu stehen kommt. Dieses geschieht für die beiden Arten der Zehenstellung in verschiedener Weise und durch verschiedene Muskelwirkung. Ist der Fuss frei schwebend, so kommt die Einrichtung desselben durch den Zug des Muskels auf den Fuss zu Stande; ist er dagegen auf den Boden gestellt, so wirkt der Muskel durch Seitendruck auf die Fussgelenke. Die Dorsalflexion der Zehen muss an dem frei schwebenden Fusse durch die Zehenstrecker ausgeführt werden, an dem aufgesetzten Fusse kommt sie durch den Gegendruck des Bodens von selbst zu Stande, wenn die Ferse vom Boden erhoben wird.

Mag nun der frei schwebende oder, wie gewöhnlich, der aufgesetzte Fuss für die Zehenstellung eingerichtet werden, so ist die Einrichtung für die beiden Arten der Zehenstellung folgende:

Für die Stellung auf der grossen Zehe allein findet zuerst eine Streckung des Fusses (Senkung der Fussspitze) in dem Fussgelenke im engern Sinne statt und danach eine starke Adduktion (gegen die Mitte des Fusses) des Metatarsusknochens der grossen Zehe und gleichzeitig Beugung desselben nach der plantaren Seite hin. Diese beiden letzten Bewegungen sind vorzugsweise die Wirkung des *m. peronaeus*

longus. Die grosse Zehe wird dadurch so weit nach aussen gestellt, dass ihre Mittellinie von vornen gesehen mit der fortgesetzten Mittellinie des Unterschenkels zusammenfällt. Zugleich wird sie sehr weit rückwärts gestellt und die Fusswurzel mit dem Metatarsus ist mit einer starken Konvexität gegen vornen in ihrer Grosszehenseite annähernd senkrecht gestellt.

Für die Stellung auf allen Zehen muss der Fuss ebenfalls zuerst in dem Fussgelenke im engeren Sinne gestreckt sein, und muss dann eine Drehung um die untere Astragalus-Axe in der Art erfahren, dass der Kleinzehen-Rand nach hinten gestellt wird (Senkung des Kleinzehen-Randes bei dem wagerecht liegenden Fusse). Dieses ist vorzugsweise die Wirkung des *m. tibialis posterior.* Ist die Stellung vollendet, so ist die Reihe der Metatarsusköpfchen stark nach hinten gestellt; der Metatarsusknochen der fünften Zehe ist in annähernd senkrechter Stellung unter den Unterschenkel gestellt und die anderen Metatarsusknochen sind, der allmäligen Zunahme ihrer Länge entsprechend, je weiter gegen den inneren Fussrand sie gelegen sind, um so mehr nach vornen gestellt. Die ganze Fusswurzel mit dem Metatarsus ist auf der dorsalen Seite stark konvex und der Astragaluskopf tritt in dieser Konvexität stark hervor.

Für die Erhebung des Metatarsus gegen die am Boden festliegenden Zehen ist von Interesse, dass die Profilkurven aller Köpfchen kongruent sind und in gleicher Weise den Boden berühren, so dass sie in vollständigem Parallelismus neben einander sich bewegen können. Das Köpfchen des Metatarsusknochens der grossen Zehe ist zwar etwas grösser, d. h. hat etwas grössere Halbmesser in der Profilkurve, seine beiden Abtheilungen haben aber den gleichen Bogenwerth, wie die entsprechenden Abtheilungen der anderen Metatarsusknochen. Zu bemerken ist ferner noch, dass die Bewegung der Metatarsusköpfchen auf den dicken plantaren Kappen der Metatarso-Phalangal-Gelenke geschieht und dass diese durch die *ligamenta capitulorum* so vereinigt sind, dass sie gewissermassen eine fünftheilige Hohlrolle darstellen, in welcher sich die fünf Metatarsusköpfchen gleichzeitig und gleichmässig bewegen können.

F. Die Muskeln des Fusses.

In Bezug auf die kleinen Muskeln in der Fusssohle wurde in Früherem bereits darauf aufmerksam gemacht, dass diese, abgesehen von ihren leichtverständlichen Einwirkungen auf die Bewegungen der Zehen, grossentheils die Nebenwirkung haben, auf Vermehrung der Fusswölbung hinzuwirken und dadurch die Tragfähigkeit des Fusses zu erhöhen.

Die langen Muskeln, welche, von dem Unterschenkel entspringend, an den Fuss und die Zehen hingehen, müssen wegen der Vertheilung der Artikulation des Fusses und wegen der Beweglichkeit des Fusses in sich eine mehr oder weniger zusammengesetzte Wirkung haben.

Da an den Astragalus, seinem Meniskuscharakter entsprechend, sich gar keine Muskeln ansetzen, so wird auch keiner der langen Fussmuskeln auf das obere Astragalusgelenk (Fussgelenk im engeren Sinne) allein einwirken können.

Das einfachste Verhältniss bietet die Gruppe der in der Achillessehne vereinigten Wadenmuskeln. Bekanntlich setzen sich dieselben an das *tuber calcanei* an und müssen demnach dieses nach oben ziehen. Die Einwirkung, welche dadurch auf den Fuss ausgeübt wird, wird durch Zerlegung in ihre einzelnen Elemente am Leichtesten verstanden. Denkt man sich für diesen Zweck zuerst einmal den ganzen Fuss in sich unbeweglich, so ist leicht einzusehen, dass die erste Wirkung der Wadenmuskeln die sein muss, durch Bewegung des Astragalus gegen den Unterschenkel die Fussspitze zu senken (den Fuss zu strecken). Ist diese Bewegung bis zur Hemmung durchgeführt, dann muss, wenn der Fuss in sich beweglich ist, die Wirkung sich auch noch auf das untere Astragalusgelenk erstrecken, da die Axe desselben bei ihrem Absteigen nach hinten zugleich eine Richtung nach aussen hat. Durch Drehung um diese Axe wird dann der äussere Fussrand hinabgesenkt. — Wirken die Wadenmuskeln bei aufgesetztem Fusse, so wird der Fuss in die zweite Zehenstellung (Kleinzehenstellung) erhoben.

Die anderen langen Fussmuskeln haben wegen ihrer Anheftung an der vorderen Fusswurzel beziehungsweise an den Metatarsusknochen komplicirtere Wirkungen. Gemeinsam ist hierbei allen, welche hinter den Knöcheln herunter gehen, eine Streckung des Fusses (Senkung der Fussspitze), zunächst in dem Fussgelenke im engeren Sinne. Die weiteren Wirkungen sind verschiedene.

Der *m. tibialis posterior* hat seine Anheftung an dem inneren Fussrande an dem *os naviculare* und dem *os cuneiforme I.* Durch Zug an diesen verkürzt er das innere Fussgewölbe und hebt dadurch dessen Mitte. Er hat aber auch noch eine starke Ausbreitung mit stark ausgespaltener Sehne an die vorderen Fusswurzelknochen bis zum *os cuboides* und an die Basis der äusseren Metatarsusknochen; — durch diese Anordnung bewegt er den äusseren Fussrand nach unten zuerst durch Herabziehen der äusseren Metatarsusknochen und Verschiebung des *os cuboides* an dem Kalkaneus und nach Hemmung dieser Bewegung dann noch durch Drehung des ganzen Fusses (ohne den Astragalus) um die untere

Astragalusaxe. — Bei aufgesetztem Fusse führt diese Bewegung zu der ausgesprochensten Form der Kleinzehenstellung.

Sein natürlicher Antagonist ist der *m. peronaeus longus.* Wie der *m. tibialis posterior* vom inneren Fussrande aus die Fusssohle quer durchschreitet bis zum äusseren Fussrande, so durchschreitet der *m. peronaeus longus* die Fusssohle an dem äusseren Fussrande zu dem inneren hin. Während aber diese Anordnung bei dem *m. tibialis posterior* mehr als Nebensächliches erscheint, ist die entsprechende Anordnung bei dem *m. peronaeus longus* die Hauptsache. Indem er unter dem *os cuboides* hindurchgeht, drängt er dieses hinauf und hebt damit die Mitte des äusseren Fussgewölbes. Seine Hauptanheftung an der *basis ossis metatarsi I* zieht diese stark nach aussen hinab und dreht den ganzen Fuss um die untere Astragalusaxe, wobei der Kopf des Astragalus in seine extremste Stellung gegen innen gebracht wird. — Bei aufgesetztem Fusse führen diese Bewegungen zu der ausgesprochenen Form der Grosszehenstellung.

Bei gleichzeitiger Thätigkeit dieser beiden Muskeln heben sich ihre seitlichen Wirkungen theilweise auf und sie bewirken gemeinsam eine Verschmälerung des Fusses durch eine Art von Opposition der beiden Fussränder.

Der *m. peronaeus brevis* unterstützt die Wirkung des *m. peronaeus longus* dadurch, dass er mit der Streckung zugleich den äusseren Fussrand hebt; daneben führt sein Zug an der *tuberositas ossis metatarsi V* das *capitulum* dieses Metatarsusknochens nach aussen.

Von den beiden langen Zehenbeugern ist der *m. flexor hallucis longus* besonders geeignet dafür angeordnet, bei aufgesetztem Fusse durch Seitendruck in demselben Sinne auf die Fussgelenke zu wirken, wie die Wadenmuskeln; weniger ist dieses der Fall bei dem *m. flexor digitorum communis longus,* weil dieser ganz an dem inneren Fussrande unter dem *sustentaculum tali* hindurchgeht. Dagegen kann er bei dieser Anordnung durch Seitendruck gegen aussen etwas zur Unterstützung des inneren Fussgewölbes beitragen. Bei aufgesetztem Fusse muss der *m. flexor communis longus* zugleich die Wirkung des *m. tibialis posterior* unterstützen.

Die an der vorderen Seite des Fussgelenkes herabgehenden langen Muskeln haben als gemeinsame Wirkung eine Dorsalflexion des Fusses zunächst in dem Fussgelenke im engeren Sinne. Die Nebenwirkungen werden durch ihre Anheftungen bedingt und sind nicht so bedeutend wie diejenigen der langen plantaren Muskeln.

Die bedeutendste Wirkung hat der *m. tibialis anterior;* derselbe hebt durch seine Anheftung an dem *os cuneiforme I* und an dem *os metatarsi I* die Mitte des inneren Fussgewölbes; und durch seine an der

inneren Fläche des *os cuneiforme I* sich hinabziehende Anheftung rotirt er zugleich den ganzen Fuss so, dass der innere Fussrand gehoben und der äussere Fussrand hinabgedrängt wird, wobei der Astragaluskopf gegen aussen hinausgedrängt wird. — Bei aufgesetztem Fusse wirft er daher, abgesehen von seiner flektirenden Wirkung, die Belastung stark auf den äusseren Fussrand. — Im Vereine mit dem *m. peronaeus brevis* verbreitert er den Fuss durch Auseinanderziehen der Metatarsusknochen.

Der *m. extensor hallucis longus* kann nach Hemmung der Streckung der grossen Zehe die Wirkung des *m. tibialis anterior* etwas unterstützen.

Der *m. peronaeus tertius* hebt den Metatarsus an dem äusseren Fussrand und gleiche Wirkung hat nach Hemmung der Zehenstreckung der *m. extensor digitorum communis longus.* Beide können also die Wirkung des *m. peronaeus longus* unterstützen, wenn die Hebung des Metatarsus eine Hemmung findet und die vordere Fusswurzel dann der Bewegung folgen muss.

Anhang: Die Missgestaltungen des Fusses.

Es sei vergönnt noch einen Blick auf die Missgestaltungen des Fusses zu werfen, um deren Verhältniss zu den oben entwickelten Mechanismen des Fusses anzudeuten.

In dem Obigen wurde darauf aufmerksam gemacht, dass es möglich ist, die Belastung auf einzelne Punkte (oder deren Verbindungslinien) der normalen Unterstützungsweise durch den Fuss zu werfen. Werden solche ungewöhnliche Unterstützungsweisen aus irgend einem Grunde habituell, so geben sie folgenden Missgestaltungen Entstehung, welche ihre extreme Ausbildung dann finden, wenn die Schwerlinie die Unterstützungslinie (oder -punkt) überschreitet und die falsche Belastung im Vereine mit dem Gegendruck des Bodens ihren Einfluss noch in bleibender Weise auf die Gestaltung des Fusses geltend machen.

Zu starke Belastung des inneren Fussgewölbes bis zum Umkippen nach innen bedingt den Plattfuss,

zu starke Belastung des äusseren Fussgewölbes bis zum Umkippen nach aussen den Klumpfuss,

zu starke Belastung der Zehen den Spitzfuss, von welchem entsprechend dem oben Entwickelten zwei Formen vorkommen, nämlich der Grosszehen-Spitzfuss und der Kleinzehen-Spitzfuss,

zu starke Belastung der Ferse den Hackenfuss.

Da, wie vorher ausgeführt, Muskelwirkungen auch an dem freien Fusse die entsprechenden Gestaltungen erzeugen können, können die oben bezeichneten Missgestaltungen auch ohne Mitwirkung des Gegendruckes von Seiten des Bodens ganz allein durch »Muskelkontrakturen« hervorgebracht werden.

Eine besondere Stellung nehmen die absichtlich oder unabsichtlich durch gewaltsame Misshandlung des Fusses herbeigeführten künstlichen Missgestaltungen ein. Dieser sei daher hier noch mit einigen Worten gedacht.

Die auffallendste Missgestaltung dieser Art ist die sprichwörtlich gewordene Fussverstümmelung vornehmer chinesischer Frauen. Dabei wird durch Einwickelungen, welche im vierten bis sechsten Lebensjahre beginnen, die Fusswölbung so enorm erhöht, dass der Fuss nur mit dem senkrecht gestellten Fersenbeine und den Metatarsusköpfchen auf dem Boden steht. Zu weiterer Verkürzung des Fusses werden noch die kleinen Zehen auf die Fusssohle und die grosse Zehe auf den Fussrücken zurückgeschlagen. Nebenstehende Abbildung eines skeletirten Fusses dieser Art erläutert diese Verkrüppelung. Sie ist entnommen einer Abhandlung von Bransby Blake Cooper in den *Philosophical transactions* 1829. S. 255.

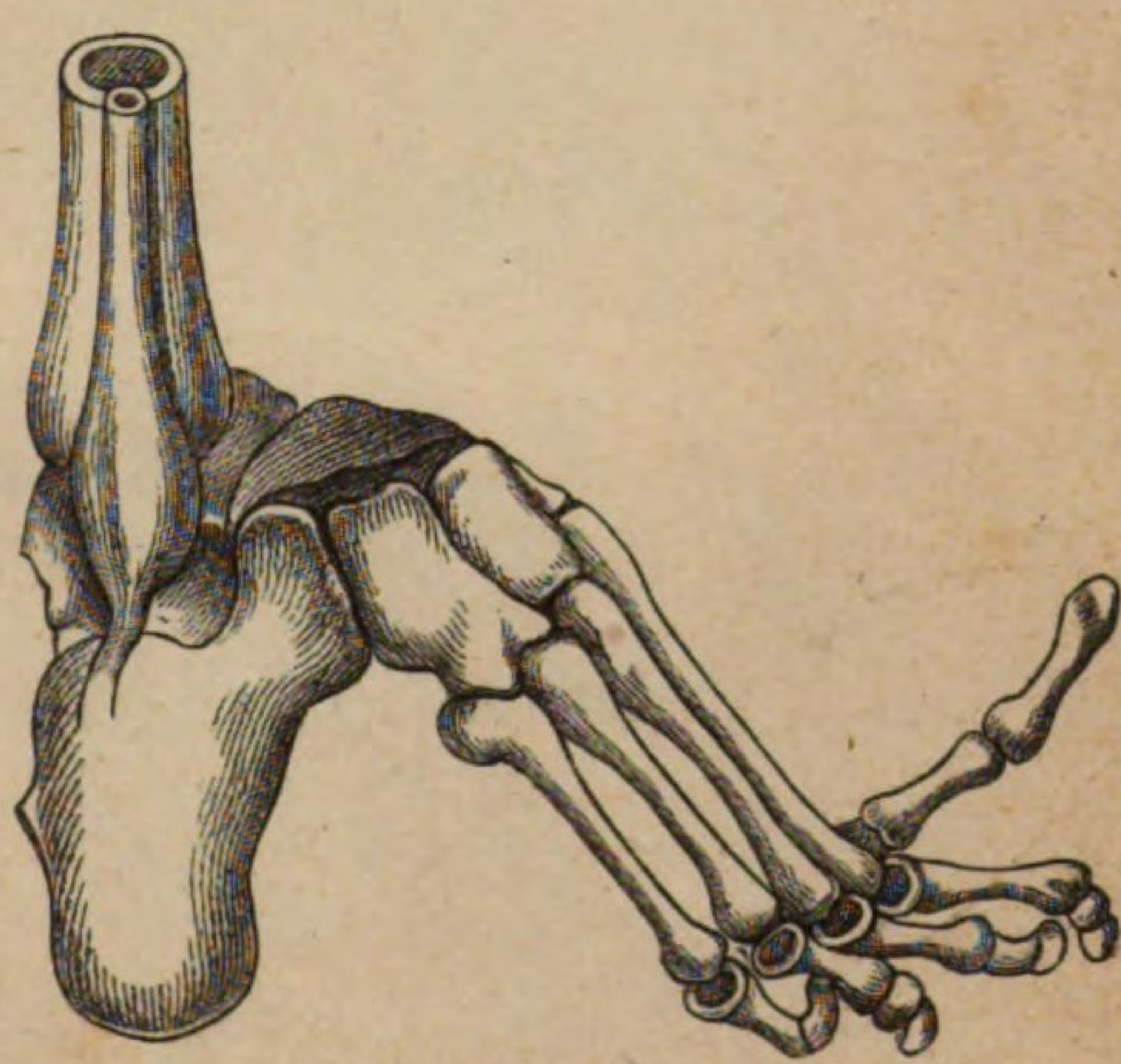


Fig. 43.

In geringerem Grade, wenn auch in nicht unwichtiger Weise verkrüppelt die geläufige Schuh-Konstruktion die Füsse auch in Europa und den Ländern europäischer Bildung. — Die grosse Zehe wird unter seitlicher Abknickung in ihrem Metatarso-Phalangal-Gelenke auf die kleinen Zehen hingedrängt und diese dadurch oft auf die sonderbarste Art über und untereinander geschoben, — und indem der an seinem inneren Rande höhere Fuss unter dem gleichmässig niedrigen Oberleder Platz suchen muss, wird er so um seine Längenaxe gerollt, dass das innere Fussgewölbe nach innen umgelegt wird. Es wird deshalb zu stark und in falscher Richtung belastet und damit Plattfussbildung erzeugt. Ich

habe dieses in dem populären Schriftchen IV. 3 genauer ausgeführt. Die daselbst gemachten Vorschläge zu einer rationellen Beschuhung gehen dahin, der grossen Zehe durch die Gestalt der Sohle und die Höhe des Oberleders die Möglichkeit zu geben, ihre richtige Lage einzunehmen, und durch grössere Höhe des Oberleders entsprechend dem inneren Fussrande ein Hinabdrücken dieses letzteren zu vermeiden.

74

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.

5 Pl.

RAL-RG 495
Buchbinderei
M. Schedl u. Gebr. Schwab
8 München 5, Erhardtstr. 28

BSB Bayerische StaatsBibliothek

MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Meyer, Georg Hermann <<von>>,

Die Statik und Mechanik des menschlichen Knochengerüstes

Leipzig 1873

Anat. 292 xb
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11156741-5